FRONTERAS
ISAAC ASIMOV

Título original: *Frontiers*
Traducción; Josep Ferrer i Aleu
Escaneo: Marroba2002
Corrección: Pepe
1.ª edición: octubre 1991
La presente edición es propiedad de Ediciones B, S.A.
Calle Rocafort, 104-08015 Barcelona (España)

Printed in Spain
ISBN: 84-406-2042-X
Depósito legal: B. 30.980-1991
Impreso en Talleres Gráficos «Dúplex, S.A.»
Ciudad de Asunción, 26-D
08030 Barcelona
Diseño cubierta: Ripoll Arias

A Red Evans, modelo del lector fiel

INTRODUCCIÓN

Desde que los hombres aprendieron a pensar analíticamente y a emplear materiales asequibles para hacer la vida más fácil y segura, hemos cruzado una interminable serie de fronteras. En las ciencias, estas fronteras han sido siempre puertos de embarque hacia lo desconocido, y necesariamente la comprensión y el progreso han ido precedidos de cuidadosas revisiones.

Un proceso parecido de revisión y reevaluación es importante para todo escritor que pretenda explicar las complejidades de la ciencia moderna a quienes no están formalmente adiestrados en la materia. Yo he seguido esta máxima desde 1986, cuando empecé a escribir semanalmente una columna de ciencia para *The Los Angeles Times Syndicate.* La experiencia fue muy interesante y me impulsó a publicar aquel trabajo en forma de libro. *Fronteras* es por tanto una colección de observaciones sobre una base amplia, que expone recientes avances en la ciencia y reexamina y valora los logros históricos que condujeron al enfoque de nuestro conocimiento. Espero que el planteamiento informal de esta colección sirva para descubrir nuevos panoramas a quienes comparten mi asombro ante las imponentes fronteras que se nos ponen delante cuando avanzamos hacia una mayor comprensión de nuestro al parecer infinito universo.

Cuando preparaba este libro se me ocurrió pensar que su contenido tenía un carácter bastante idiosincrásico. Tengo tendencia a seguir lo que me interesa, y algunas cosas me interesan más que otras. Por esta razón, los comentarios se centrarán más en la física y en la astronomía que, por ejemplo, en las ciencias médicas, que ocupan más espacio en los periódicos y revistas que todas las demás ramas de la ciencia juntas.

Como el libro versa sobre las fronteras de la ciencia, las conclusiones de los diversos ensayos a veces son provisionales. Después de todo, la ciencia es provisional: siempre está dispuesta a ampliarse o corregirse. Menciono por ejemplo un reciente descubrimiento sobre la concentración de oxígeno en antiguas atmósferas y expreso mis dudas sobre el valor del resultado. O examino un descubrimiento aparentemente emocionante de arcos de luz en el cielo y observo después que estos arcos al parecer han resultado una especie de ilusión óptica.

Los resultados que logran los científicos en alguna materia fronteriza es muy probable que sean contradictorios, pero esto es característico de las fronteras. Por ejemplo, en muchos ensayos de este libro, estudio el tema de la edad del universo.

En algunos casos, los nuevos hallazgos inducen a pensar que el universo tiene unos 10.000 millones de años, mientras que en otros casos se indica una edad de 20.000 millones. Bueno, ¿cuál es en realidad? La respuesta es que no podemos saberlo con certeza. Es una cuestión difícil de determinar, y diferentes líneas de investigación apuntan en direcciones algo diferentes. Esto no es un fallo de la ciencia sino más bien uno de sus méritos: se puede discutir libremente sobre puntos polémicos y hay múltiples caminos hacia la meta, algunos de los cuales pueden ser callejones sin salida. Seguramente llegará un día en que se resolverá la cuestión de la edad del universo, como se ha resuelto la de la edad de la Tierra. Hasta entonces, el lector puede tener interés en conocer las diferentes maneras de abordar el problema y en sopesar por sí mismo los valores de los distintos argumentos y sus resultados.

Por último, el lector encontrará necesariamente un número considerable de coincidencias parciales en algunos de los ensayos. A fin de cuentas cada uno de ellos ha sido escrito para que tuviera entidad por sí mismo. Dos ensayos sobre temas parecidos pueden requerir, por tanto, algún antecedente común, y sólo me cabe pedir comprensión y perdón a este respecto.

Pese a estas advertencias, confío en que este libro dé al lector una impresión de lo que muchos científicos están descubriendo actualmente. La ciencia tiene mucho de sujeto vivo, y nunca lo ha sido tanto como ahora. Hoy en día, más científicos, con más técnicas a su inmediata disposición, están investigando más temas, con más entusiasmo que nunca.

Como resultado de ello, los campos del conocimiento humano se están extendiendo con más fuerza que nunca.

ISAAC ASIMOV

1 de octubre de 1989

I. FRONTERAS DEL HOMBRE PRIMITIVO

NUESTROS ANTEPASADOS

La especie humana es una recién llegada a la Tierra. No llevamos mucho tiempo aquí, en comparación con la larga vida de la Tierra, pero sí más del que solíamos pensar. Y periódicamente los científicos se siguen sorprendiendo con nuevas mediciones que demuestran que nosotros, o nuestros antepasados, somos cada vez más antiguos.

Hasta épocas modernas, los eruditos occidentales, e incluso los científicos, daban por cierto que la humanidad (y la Tierra misma) tenía sólo una edad de unos 6.000 años porque esto era lo que parecía dar a entender la Biblia. Sin embargo, ya en 1797, un inglés, John Frere, descubrió toscos útiles de pedernal que tuvieron que *ser confeccionados* por seres humanos primitivos. Estos útiles fueron descubiertos a una profundidad de cuatro metros bajo el suelo. Los objetos que no son movidos de sitio se cubren lentamente de polvo y barro que se convierten en roca, y cualquier útil enterrado a aquella profundidad debe tener mucho más de 6.000 años de antigüedad.

Más tarde, un francés llamado Edouard Lartet encontró un antiguo diente de mamut sobre el que había grabada una excelente silueta de mamut. Sólo la podía haber grabado un ser humano que vivió en la misma época que el hace largo tiempo extinto mamut.

Con el tiempo se fueron encontrando restos óseos de organismos que no eran totalmente seres humanos, aunque se parecían más a éstos que a los monos debido a la estructura de su esqueleto. Se los llamó *homínidos,* y representaban una larga serie de organismos que fueron antepasados (o ramas colaterales) de los modernos seres humanos: *Homo sapiens.*

Se sabía que los homínidos eran antiguos, pero resultaba difícil precisar su antigüedad.

Los científicos sólo podían conocerla de forma vaga por la profundidad a la que se hallaban los restos y la clase de huesos de otros animales que los acompañaban. Se creía que los homínidos podían haber existido sobre la Tierra durante cientos de miles de años, pero la fecha no era segura.

Sin embargo, en 1896 se descubrió la radiactividad. Se vio que ciertas clases de átomos eran inestables y se desintegraban a un ritmo fijo, que podía medirse. Así, el uranio se desintegraba dando plomo a un ritmo según el cual la mitad del uranio se convertía en plomo en 4.600 millones de años. En 1907, un americano, Bertram B. Boltwood, sugirió que las rocas que contenían uranio tenían también que contener plomo. Observando las proporciones de uranio y plomo, se podía calcular la cantidad de uranio que se había desintegrado y, por tanto, la edad que debía tener la roca.

Este fue el principio del «método de datación radiactiva», que podía emplearse para determinar la edad de rocas que no hubiesen sido alteradas. El método radiactivo demostró que algunas de las rocas descubiertas habían permanecido inalteradas durante unos 3.500 millones de años, por lo que la Tierra debía ser más antigua. Meteoritos que no han sido alterados desde el principio presentan edades de unos 4.600 millones de años, que ahora se consideran la edad de la Tierra... y del sistema solar.

Naturalmente, si descubrimos huesos de homínido dentro de una roca y determinamos la edad de ésta, habremos determinado también la antigüedad de los huesos. No todas las rocas contienen suficiente uranio como para hacer este cálculo, pero en cambio todas ellas contienen el elemento común potasio. Ciertos átomos de

potasio son radiactivos y se desintegran en el gas inerte argón a un ritmo tal que la mitad del potasio desaparece en 1.300 millones de años. Midiendo el potasio y las burbujas de argón atrapadas en la roca, podemos determinar el tiempo transcurrido desde que se formó aquella roca y quedaron los huesos encerrados en ella.

Estas técnicas se fueron perfeccionando con el transcurso del tiempo, y los homínidos resultaron generalmente más antiguos de lo que se pensaba. En septiembre de 1987, científicos de la Universidad de Utah dataron rocas de Kenya que contenían útiles antiguos. Se había calculado que aquéllas tenían unos 500.000 años de antigüedad, pero las nuevas mediciones indicaron que al menos tenían 700.000, y posiblemente 900.000 años.

Y hubo homínidos todavía más antiguos (parece que evolucionaron en el África oriental y meridional, lo cual no es de extrañar porque allí es donde viven los chimpancés y gorilas, nuestros más próximos parientes no homínidos). En Oiduvai Gorge, África oriental, se descubrieron cráneos de homínidos y útiles primitivos que sorprendieron a los científicos porque resultó que poseían una antigüedad aproximada de 1.800.000 años. Los homínidos pertenecían a nuestro género, *Homo* y se les dio el nombre de *Homo habilis.*

Antes del *Homo habilis* existieron homínidos aún más primitivos, demasiado diferentes de nosotros como para considerarlos del género *Homo* aunque sin embargo eran homínidos. Por ejemplo, tenían caderas y piernas como las nuestras y podían caminar erguidos con la misma facilidad con que lo hacemos nosotros. El más antiguo de ellos fue llamado *Australopithecus afarensis.* Se han descubierto restos fosilizados que parecen darle una antigüedad de cuatro millones de años.

Sin duda debieron existir especimenes aún más antiguos.

No parece aventurado suponer que hace cinco millones de años ya había homínidos sobre la Tierra. Esto significaría que la especie humana y sus antepasados homínidos serían ochocientas veces más antiguos que lo que creían los eruditos hace sólo un par de siglos. Pero para hacernos cargo de la proporción digamos que los homínidos han existido sólo durante una milésima parte de la edad de la Tierra.

¿QUÉ EDAD TENEMOS?

¿Qué edad tenemos nosotros? Entiendo por «nosotros» el grupo de organismos conocido como «hombre actual», «hombre moderno», «seres humanos» u *Homo sapiens sapiens.* Ahora la respuesta es que podemos ser dos veces más antiguos de lo que nos imaginábamos.

Para ver lo que esto significa, retrocedamos hasta 1856. En el valle alemán occidental del río Neander *(Neanderthal* en alemán), unos trabajadores que limpiaban una cueva de piedra caliza encontraron unos huesos. La cosa no tenía nada de extraño. Lo que solía hacerse era tirar los huesos. Y así se hizo, pero el hecho llegó a oídos de un profesor de una escuela próxima que se dirigió al lugar y consiguió salvar unos catorce huesos, entre ellos un cráneo.

Los huesos eran humanos, sin ningún género de dudas, pero el cráneo en particular mostraba algunas interesantes diferencias respecto al de un ser humano ordinario. Tenía muy pronunciados los arcos superciliares, la frente huidiza, el mentón aplastado y presentaba unos dientes extraordinariamente prominentes.

Los restos fueron rápidamente denominados «hombre de Neanderthal» y surgió inmediatamente una acalorada controversia. ¿Eran los restos de un antiguo y primitivo antepasado de los seres humanos modernos, o eran de un ser humano corriente con alguna anomalía en los huesos?

Más tarde se encontraron en otras partes de Europa y de Oriente Medio otros restos óseos con cráneos parecidos al de Neanderthal. No podía haber tantas personas con la misma anomalía ósea. Por consiguiente hubo que aceptar que el hombre de Neanderthal era un antiguo y en cierto modo primitivo tipo de ser humano. Los antropólogos empezaron a llamarle *Homo neanderthalensis* (el hombre moderno era llamado *Homo sapiens,* que quiere decir «sapiente» o «conocedor»). Ambos pertenecían al género *Homo.* Pero, en definitiva, las diferencias entre el hombre de Neanderthal y el hombre moderno parecieron tan pequeñas que los antropólogos empezaron a considerarlos miembros de dos subespecies. El hombre de Neanderthal fue llamado *Homo sapiens neanderthalensis,* y el hombre moderno *Homo sapiens sapiens.*

El posible que el hombre de Neanderthal descendiera de antepasados todavía más primitivos, de hace 250.000 años. En algún tiempo y lugar, algunos Neanderthal experimentaron los pequeños cambios evolutivos requeridos para obtener los atributos modernos. No sabemos exactamente cuándo ni dónde, porque los hombres de Neanderthal eran poco numerosos y demasiado listos para dejarse atrapar en condiciones adecuadas para su fosilización, por lo que tenemos muy pocos fósiles para sacar conclusiones.

No obstante se han encontrado esqueletos antiguos que son exactamente iguales que los modernos y, a juzgar por ellos, el hombre moderno debió surgir hace al menos 40.000 años. Esto pudo ocurrir en el norte de África, aunque esto es muy dudoso.

Los últimos esqueletos neandertalenses tienen unos 35.000 años de antigüedad. Por consiguiente, el hombre moderno y el de Neanderthal moraron juntos en la Tierra durante un tiempo (principalmente en Europa, pues es aquí donde se han encontrado la mayoría de los fósiles neandertalenses). Es posible por tanto que el hombre de Neanderthal y el moderno viviesen juntos sólo durante 5.000 años antes de que aquél desapareciese.

Cuando se encontraron las dos subespecies, probablemente lucharon por la comida y los hábitats, y perdió el hombre de Neanderthal. ¿Por qué? No lo sabemos con certeza. Hay algunas razones para creer que los hombres de Neanderthal eran más robustos y vigorosos que los hombres modernos. En cambio, tal vez fuesen menos ágiles.

O quizá los modernos eran más ingeniosos. Mi teoría predilecta es que el hombre moderno inventó las armas de largo alcance, como hondas o arcos y flechas, con las que podían atacar a los de Neanderthal desde lejos y evitar de este modo el peligro del combate cuerpo a cuerpo. Los pobres hombres de Neanderthal debieron de perder casi todas las batallas y cada vez fueron menos numerosos, hasta que los *Homo sapiens sapiens* en número creciente quedaron como dueños indiscutibles de la Tierra.

Pero un estudio publicado en febrero de 1988 por un grupo de antropólogos franceses e israelíes plantea nuevos interrogantes sobre las relaciones del hombre primitivo con los hombres de Neanderthal. En él se explica el hallazgo, en una cueva de Israel, de restos de esqueletos de unos treinta seres humanos que parecen haber sido de *Homo sapiens sapiens.* Se estudió la edad de algunos útiles de piedra encontrados con aquellos restos, mediante una técnica llamada *termoluminiscencia* (producción de luz con el calor), y si los resultados son correctos, los esqueletos tienen unos 90.000 años de antigüedad.

Si es así, esto significaría que el hombre moderno se escindió de la raza de Neanderthal hace más del doble del tiempo que se había creído, y que durante el mismo pudo desarrollar diferencias que tal vez no se advierten en los huesos. Si estos resultados se confirman, tal vez los antropólogos considerarán de nuevo al hombre de Neanderthal y al hombre moderno como dos especies diferentes.

Y si el hombre de Neanderthal y el hombre moderno coexistieron sobre la faz de la Tierra, no durante 5.000 años sino durante 55.000, ¿por qué tardó tanto el hombre moderno en liquidar al de Neanderthal? ¿Eran los neandertalenses más listos de lo que nos imaginábamos? ¿Combatieron mucho mejor de lo que creíamos?

Los científicos deben ahora dilucidar estas cuestiones. Pero es triste pensar que el hombre moderno, si lo intentase de veras, podría hoy en día liquidarse a sí mismo en 55.000 segundos.

SOBRE LAS PATAS DE ATRÁS

Los homínidos más antiguos, criaturas que eran más parecidas al hombre que al mono, fueron los *australopithecus*. Esta denominación es errónea pues la palabra procede del griego y significa «monos del sur». Los australopitecos eran desde luego sureños, pues sus restos fósiles se descubrieron por primera vez en el hemisferio meridional (África del Sur, para ser exactos); pero no eran monos.

Pudieron tener la talla y la complexión de monos bastante pequeños y un cerebro no mayor que el de los chimpancés, pero caminaban erguidos. Tenían pies, caderas y columna vertebral como los nuestros, y debieron andar tan erguidos y con tanta facilidad como lo hacemos nosotros.

Caminar sobre las patas de atrás es la más antigua de las características humanas. Los australopitecos habían evolucionado y caminaban de pie hace cuatro millones de años. Eran los únicos que lo hacían así. Los chimpancés y los gorilas tienen dedos pulgares opuestos en los pies, de modo que en realidad poseen cuatro manos. Sólo raramente y con dificultad se levantan sobre las patas de atrás. Sus pies no son como los nuestros, que no tienen pulgares opuestos y están hechos sólo para andar. No tienen nuestra columna vertebral en forma de ese ni las caderas como las nuestras, que nos permiten permanecer erguidos durante mucho tiempo.

Pero ¿por qué adoptaron los australopitecos la posición erguida? ¿Qué ganaron con ello? ¿Qué valor tenía esa posición para su supervivencia? Una posibilidad es que con ello conseguían mayor altura para ver la comida, o el peligro, desde lejos. Pero para esto bastaba con levantarse ocasionalmente y por poco rato sobre las patas de atrás.

Una opinión romántica es que al levantarse sobre las patas de atrás quedaban libres los brazos. Esto permitió desarrollar las manos, usadas en principio para la manipulación del entorno, para la investigación y para elaborar útiles. Todo esto requirió mejor vista y cerebro, y así creció nuestro cerebro y nos volvimos totalmente humanos.

Esto fue sin duda un efecto secundario definitivo pero no inmediato. Después de que los primeros australopitecos empezasen a caminar erguidos, continuaron existiendo durante dos millones de años antes de que sus descendientes tuviesen un cerebro lo bastante desarrollado como para elaborar útiles de piedra y dar las primeras señales de una inteligencia que se pudiese considerar humana.

Pero entonces, ¿de qué les sirvió andar erguidos durante los dos millones de años en que siguieron teniendo el cerebro pequeño y no emplearon las manos para elaborar utensilios?

Mary Leakey (que tal vez ha sido la persona más famosa entre las que han encontrado restos de homínidos, junto con su hoy difunto marido, Louis, y su hijo, Richard) y sus colaboradores tienen una idea: creen que los australopitecos se alimentaban de carroña. No eran lo bastante corpulentos como para matar los grandes herbívoros de África, ni lo bastante inteligentes como para organizar cacerías. En vez de esto debían apoderarse de los restos de grandes animales matados por depredadores

tales como los leones y los leopardos. Dicho en pocas palabras, tenían el estilo de vida de los chacales, las hienas y los buitres (hoy resulta una idea bastante desagradable).

Si hubiesen tenido que esperar a que matasen un animal cerca de donde estaban, habrían tenido que esperar mucho tiempo. La mayoría de los animales que comen carroña tienen que hacerlo porque la necesidad de cuidar de sus retoños los mantiene a menudo cerca de sus cubiles.

En todo caso, al alcanzar la facultad de caminar erguido, el australopiteco tuvo los brazos libres no para elaborar útiles sino para trasladar a sus pequeños.

Así pues podemos imaginar a aquellos homínidos bastante pequeños, sosteniendo a sus hijos con los miembros delanteros y corriendo sobre los traseros, siguiendo las manadas de antílopes y cebras y esperando las matanzas que finalmente pudiesen compartir.

Se da el caso de que mi esposa Janet (que es psiquiatra) ha especulado durante mucho tiempo sobre algunos de los aspectos del caminar erguido, y desde hace algunos años está convencida de que entonces lo importante era llevar a los hijos en brazos.

Me ha sugerido que al ser el cuerpo humano lampiño, los hijos no podían agarrarse a los pelos del cuerpo de su madre y por consiguiente tenían que ser llevados en sus brazos. Desde luego no sabemos en qué momento de la evolución humana perdió el cuerpo su pelo. No sabemos si los australopitecos fueron tan peludos como los monos o tan lampiños como nosotros, o si eran un término medio. En todo caso, si el pelo del cuerpo empezó a desaparecer (sobre todo en las hembras) aproximadamente en el tiempo en que se alzaban sobre las patas de atrás, esto habría dado un mayor impulso a la necesidad de llevar a los niños en brazos.

Mi esposa señala también que los pequeños podían haber estado más tranquilos cuando eran sostenidos por el brazo izquierdo, más cercano al sonido apaciguador de los latidos del corazón (a los que se habían acostumbrado en el útero); esto dejaba libre el brazo derecho para la manipulación del entorno y pudo dar lugar a que los seres humanos fuesen diestros (como lo somos el 90 por ciento). A fin de cuentas nuestros primos los monos no dan señales de usar preferentemente la mano derecha sino que emplean los miembros derecho e izquierdo con igual facilidad.

MANOS, AL FIN

El reciente descubrimiento de unos cuantos huesos pequeños ha suscitado de pronto interesantes cuestiones sobre la fabricación de útiles por primitivas criaturas más parecidas a los seres humanos que a los monos.

Estos primeros homínidos fueron los *australopithecus* («monos del sur»), llamados así porque sus esqueletos se encontraron sobre todo en África del Sur, y al parecer estuvieron confinados allí y en el África oriental. Pero no eran monos porque los huesos .de las piernas y de las caderas se parecían mucho a los nuestros, y aquellas criaturas caminaban erguidas y con la misma facilidad con que lo hacemos nosotros. Los primeros australopitecos pudieron existir hace cinco millones de años. Los últimos se extinguieron tal vez hace un millón de años. Esto significa que duraron cuatro millones de años, por lo que se les puede considerar un grupo afortunado de seres.

Los primeros australopitecos eran criaturas pequeñas, de menos de 1,20 m de estatura y un peso de tan sólo 30 kilos. Su cerebro no era más grande que el de los chimpancés, pero caminaban erguidas y probablemente eran más inteligentes que los chimpancés.

Con el paso de los siglos, los australopitecos evolucionaron y dieron origen a varias especies. Los científicos modernos, al estudiar los huesos fosilizados de aquellas

criaturas, identificaron al menos cuatro de estas especies. En general, y a medida que avanzaba el tiempo, los australopitecos y su cerebro aumentaron de volumen.

Hace unos dos millones y medio de años apareció la especie *Australopithecus robustus.* Pudo tener hasta un metro y medio de estatura y pesar 50 kilos. Su cerebro era aproximadamente un tercio del nuestro; es decir, un poco mayor que el de un gorila. Los australopitecos más grandes pudieron tener la misma talla que nosotros.

Sin embargo, el mero aumento de tamaño no basta por sí sólo para hacer más humano al australopiteco. Hace unos dos millones de años, alguna forma de australopiteco (no sabemos a ciencia cierta cuál) desarrolló cráneos más parecidos a los del hombre moderno que los australopitecos anteriores. La nueva criatura era tan semejante a nosotros que fue incorporada a nuestro género y se le dio el orgulloso nombre de *Homo* («hombre», en latín).

El primer ejemplo de género *Homo* que conocemos es el *Homo habilis,* una criatura bastante pequeña, ciertamente más pequeña que los australopitecos más grandes. Del *Homo habilis* descendió el más grande e inteligente *Homo erectus,* que fue el primer homínido que salió de África y entró en Asia. Y finalmente, del *Homo erectus* descendió el *Homo sapiens,* primero una variedad llamada «hombre de Neanderthal» y después nosotros, el «hombre moderno».

Habilis es una palabra latina que significa «diestro» o «hábil». Por consiguiente, el *Homo habilis* es un «hombre hábil». Se le llamó así porque en los lugares donde se encontraron sus huesos fosilizados, había también pequeños objetos de piedra que parecían útiles. Dichos útiles no se encontraron cerca de los fósiles del australopiteco.

Pareció por tanto que las únicas criaturas lo bastante inteligentes e ingeniosas (lo bastante diestras y «hábiles») para hacer y emplear útiles de piedra fueron los miembros del género *Homo.* Los australopitecos, aunque caminaban como los hombres, tenían demasiado limitada la organización del cerebro (aunque el tamaño de éste era igual al del *Homo habilis)* para manipular la piedra. O tal vez los australopitecos no tenían unas manos lo bastante flexibles y eficaces para trabajar la piedra.

Esta es una de las frustraciones que experimentamos al estudiar fósiles de los homínidos. No tenemos muchos, y los que tenemos son en su mayoría cráneos, dientes y huesos de la cadera y del muslo. No encontramos huesos de la mano, y es la mano, después del cerebro, la gran característica de la humanidad.

Pero ahora, en una cueva de África del Sur, se han encontrado restos fósiles del *Australopithecus robustus* entre los que hay huesos de la mano. Manos, al fin.

Resulta que los grandes australopitecos tenían dedos, y también pulgares, de la misma forma que los nuestros. Por tanto los australopitecos, al menos los últimos y más grandes, tenían manos completamente humanas.

Parece razonable suponer que los australopitecos más grandes, con manos humanas y cerebro al menos tan grande como el del *Homo habilis,* eran lo bastante diestros para hacer útiles.

Pero hay útiles y útiles. Es muy probable que los australopitecos empleasen ramas de árboles o fémures como mazas.

Tal vez tallaron incluso madera y hueso para hacer útiles más de fantasía. Pero la madera y el hueso no duran tanto como la piedra, por lo que no encontramos objetos de madera y de hueso que tengan millones de años de antigüedad. Y se requiere mucha más paciencia y habilidad para hacer los objetos más útiles de piedra, y aquí pudieron fallar los australopitecos.

Para saber si emplearon útiles de piedra, tendríamos que haberlos encontrado junto a los restos de aquellas criaturas.

Hasta ahora siempre se ha considerado que todos los útiles de piedra que han sido encontrados fueron hechos por algunas criaturas del género *Homo*. El último descubrimiento indica que un estudio más cuidadoso y con menos ideas preconcebidas puede revelar la existencia de criaturas distintas del género *Homo* que manejaron también instrumentos de piedra.

UN HUESO HABLA DE VOLÚMENES

La capacidad de hablar, de emitir una variedad de sonidos complicados, con rapidez y claridad, para comunicar información e ideas abstractas, es un rasgo humano peculiar. Nosotros podemos hablar, pero ¿pudieron hacerlo otras criaturas antes de que el «hombre moderno» *(Homo sapiens sapiens)* apareciese sobre la Tierra, hace al menos 50.000 años? Muchos antropólogos han respondido con un no a esta pregunta. Pero un reciente y sorprendente descubrimiento hace pensar que la respuesta podría ser afirmativa.

Ni siquiera hablan nuestros parientes vivos más cercanos, los grandes simios, y lo que es mucho más importante, no pueden hablar. La laringe del mono y la región que la rodea no están dispuestas de manera que puedan emitir como las nuestras una rápida variedad de sonidos. A los chimpancés y gorilas se les ha enseñado a comunicar ideas simples, pero sólo por medio de gestos y señales. Ni siquiera los más inteligentes y mejor adiestrados pueden hablar, de la misma manera que no pueden volar. No están anatómicamente dotados para hacer ninguna de estas cosas.

Lo mismo puede decirse de otros animales. A algunas aves, como los loros y unos estorninos asiáticos, de gargantas completamente distintas, anatómicamente, de las nuestras, se les puede enseñar a imitar los sonidos que emitimos nosotros, pero desde luego sin que los comprendan. Los delfines pueden emitir fácilmente una variedad de sonidos incluso más grande que nosotros, pero no podemos saber si los emplean para hablar de alguna manera parecida a la humana.

Esto deja en el aire sin embargo la cuestión de cuándo empezaron a hablar nuestros antepasados humanos. ¿Pudieron hacerlo homínidos más primitivos que el «hombre moderno»?

Parece improbable que los homínidos realmente primitivos -los australopitecos, *Homo habilis* u *Homo erectus*-, todos los cuales vivieron entre cinco millones y 200.000 años atrás, pudiesen hablar. Sencillamente, sus cerebros no eran lo bastante grandes.

Esto nos lleva al hombre de Neanderthal, que apareció en la Tierra hace tal vez 300.000 años y no se extinguió hasta hace 30.000. Los restos de su esqueleto muestran que fue tan parecido a nosotros que con frecuencia se le considera como una subespecie del «hombre moderno» y se le llama *Homo sapiens neanderthalensis.* Su cerebro era tan grande como el nuestro o incluso un poco mayor, pero tenía más en la parte de atrás de la cabeza y menos en la frente, valga esto por lo que valiere.

Por tanto la cuestión es si el hombre de Neanderthal podía hablar. La clave de la respuesta está en el hueso hioides. Se trata de un pequeño hueso en forma de U *(hioides* procede de una palabra griega que significa «en forma de U») situado en la base de la lengua. No está conectado con ningún otro hueso, pero sí con la laringe por medio de once pequeños músculos divididos en dos grupos. Éstos pueden subir y bajar la laringe, y permiten pronunciar las diversas vocales y consonantes en rápida sucesión. Sin el hueso hioides no podríamos mover la laringe de esta manera, y por esto podríamos llamarlo el «hueso hablador». Hasta ahora no se ha encontrado en los esqueletos de los hombres de Neanderthal el hueso hioides, por lo que parece razonable pensar que no podían hablar.

Es posible que se comunicasen bastante bien, pero solo por medio de ademanes y gruñidos.

Sin embargo, aquella prueba en realidad no es concluyente. El hioides es muy pequeño, sólo dos centímetros y medio de anchura y con dos cuernos estrechos, y no está conectado con otros huesos. Cuando un cuerpo se descompone, el hioides se suelta y puede quedar depositado muy lejos del esqueleto. Desde luego tampoco se han encontrado restos de la laringe, de modo que no podemos estar realmente seguros de que los neandertalenses no pudiesen hablar.

Pero entonces, en abril de 1989, se dio a conocer un sorprendente hallazgo de Baruch Arensburg, de la Universidad de Tel Aviv, y colaboradores de la Universidad de Burdeos, en Francia, y de la Moorhead State University de Minnesota. En una cueva del Monte Carmelo, en Israel, encontraron los restos de hombres de Neanderthal, y entre ellos un hueso hioides de casi la misma forma y tamaño que el del «hombre moderno». La edad del hueso se calcula en 60.000 años.

De ello se desprende que el hombre de Neanderthal era anatómicamente capaz de hablar. Coexistió con el hombre moderno durante quizá 50.000 años, y tal vez aprendió a hablar de estos parientes adelantados.

Debo confesar que tengo un interés personal en esto. Los escritores de ciencia ficción a menudo tratamos de tiempos prehistóricos y en particular del hombre de Neanderthal. En el año 1939, un buen amigo mío, Lester del Rey, escribió un cuento muy conmovedor titulado *The Day Is Done*, sobre el último hombre de Neanderthal, que fue filantrópicamente cuidado por los «hombres modernos» que le rodeaban, pero que murió desesperado por culpa de un sentimiento de inferioridad. Entre otras cosas, no podía hablar.

Yo no lo acepté jamás. Pensaba que el hombre de Neanderthal se parecía demasiado a nosotros para no ser capaz de hablar, y en 1958 escribí un cuento titulado *The Ugly Little Boy*, en el que un niño de Neanderthal es traído al tiempo actual y aprende a hablar inglés tan bien como nosotros.

Lester y yo hemos discutido muchas veces sobre esta cuestión. Procuraré darle amablemente la noticia del descubrimiento del hueso hioides.

EL PRIMER LENGUAJE DEL HOMBRE

Cuando los hombres de Cro-Magnon pintaron hace 25.000 años sus animales llenos de color en las cuevas de lo que hoy son Francia y España, ¿qué lenguaje hablaban? ¿Creen ustedes que hay científicos que tratan seriamente de contestar a esta pregunta?

¿Cómo podemos averiguarlo? Los pueblos primitivos dejaron sus huesos, sus útiles e incluso su arte, pero no nos legaron muestra alguna de su lenguaje. Para esto habrían tenido que escribirlo, y la escritura no se inventó hasta hace unos 5.000 años.

Sin embargo, en cierta manera pudieron dejar señales sobre sus lenguajes, porque las lenguas no son completamente independientes unas de otras. Por ejemplo, existen similitudes entre idiomas tales como el portugués, el español, el catalán, el provenzal, el francés, el italiano y, créanlo o no, el rumano.

Todos estos idiomas se denominan lenguas romances, no sólo porque son parecidas entre sí sino también por su similitud con la antigua lengua romana a la que llamamos latín.

Esto no es un misterio. El latín fue lengua común de la Europa occidental en los tiempos del Imperio Romano. Tras la caída del Imperio y la decadencia temporal de la educación y otros aspectos de la civilización, se separaron los dialectos del latín en diferentes partes de lo que había sido el Imperio, y en definitiva dieron lugar a nuevas

lenguas. No obstante, aún, se pueden detectar similitudes en el vocabulario y en la gramática.

Supongamos que sólo tuviésemos aquellas lenguas romances y que el latín se hubiese extinguido de forma tan completa que no tuviésemos la menor noción de él. ¿No sería posible estudiar todas las similitudes de las diversas lenguas romances y construir un lenguaje común del que hubiesen derivado todas ellas? Y si consiguiésemos hacerlo, ¿no podría este lenguaje parecerse un poco al latín?

Si retrocedemos incluso un poco más, encontraremos similitudes entre el latín y el griego. Los antiguos romanos reconocieron esto y adoptaron los principios gramaticales más refinados que habían empleado los griegos y los aplicaron a su propia lengua. Así pues, ¿no habría existido una lengua más antigua de la que se derivaron el griego y el latín?

La respuesta sorprendente a esta pregunta se pudo obtener cuando los británicos empezaron a dominar la India en el siglo XVIII. Su primer objetivo fue promover un comercio que enriqueciera a Gran Bretaña, pero naturalmente hubo eruditos que se interesaron por la civilización india en sí misma.

Entre ellos se encontraba sir William Jones, quien estudió una antigua lengua india, el sánscrito, que al igual que el latín había caído en desuso aunque dio origen a variaciones ulteriores.

El sánscrito se conservó sin embargo en antiguos escritores épicos y religiosos, y cuando Jones se puso a estudiarlo, encontró semejanzas en su vocabulario y gramática con el griego y el latín. Además, y esto fue lo más sorprendente, también había semejanzas con las antiguas lenguas teutónicas, como la gótica, el alemán antiguo y el antiguo nórdico. Incluso encontró similitudes con las lenguas persa y céltica.

Así pues, en 1786 llegó a la conclusión de que había una familia «indoeuropea» de lenguas que se extendía desde Irlanda hasta la India y que probablemente tenían un solo origen.

Podríamos suponer por tanto que alrededor del año 7000 a. de C. existió una «tribu indoeuropea» que tal vez vivió en lo que ahora es Turquía. Después se extendería en todas direcciones, llevando consigo su lengua, que evolucionaría en diferentes lugares al aislarse unos grupos de otros. Pero teniendo en cuenta todas las semejanzas, ¿no sería posible construir una especie de lengua común, un «proto-indoeuropeo» que podría parecerse sin duda a lo que hablaba la tribu original en el año 7000 a. de C.?

Esto aún parece más factible porque en el siglo XIX fueron descubiertas las reglas que determinaron los cambios del lenguaje, entre otros por los hermanos Grimm, que hoy en día son más conocidos por los cuentos de hadas que escribieron.

Hay otras familias de lenguas que no son indoeuropeas.

Está el grupo semítico, que incluye el árabe, el hebreo, el arameo y el asirio. Está el grupo hamítico, que incluye ciertas lenguas primitivas de Egipto, Etiopía y norte de África. Está el grupo ural-altaico, que incluye el turco, el húngaro y el finlandés. (Lo curioso es que siendo Turquía la cuna de las lenguas indoeuropeas, las vicisitudes de la Historia han determinado que hoy en día se hable allí una lengua que no es indoeuropea.)

Está además toda la variedad de lenguas habladas por los americanos nativos, los negros africanos, los chinos y otros pueblos del Lejano Oriente, los polinesios, los aborígenes australianos, etcétera.

E incluso hay lenguas que no guardan relación conocida con ninguna otra, como el antiguo sumerio y el moderno euskera.

Si fuesen estudiadas todas las lenguas, ¿sería posible reproducir una lengua original de la que derivasen todas ellas?

Resultaría una tarea enorme pero fascinadora para los lingüistas.

Este tema fue tratado en 1989, en una conferencia de lingüistas, por Vitaly Schevoroshkia, de la Universidad de Michigan, que ha realizado investigaciones sobre la materia.

También sería una empresa útil porque si se pudiese descubrir cómo evolucionó el lenguaje humano, posiblemente se podrían averiguar al mismo tiempo las migraciones y las andanzas del primitivo *Homo sapiens.*

EL PRIMER DESCUBRIMIENTO DEL HOMBRE

Un temprano e importante descubrimiento hecho por los seres humanos o por los más primitivos homínidos, o sea nuestros antepasados, fue el uso del fuego; pero nunca hemos sabido exactamente cuánto tiempo hace que se realizó este descubrimiento. Sin embargo, dos arqueólogos sudafricanos han aportado pruebas de que pudo realizarse muchísimo antes de lo que nos figurábamos.

Téngase en cuenta que no estoy tratando aquí del descubrimiento del propio fuego. El fuego fue un accidente común desde que aparecieron los bosques, hace aproximadamente unos 400 millones de años. Éstos podían arder, y desde luego ardieron inflamados por el rayo, de modo que los animales temían el fuego y huían de él, cientos de millones de años antes de que los seres humanos entrasen en escena.

Sin embargo, los seres humanos o prehumanos fueron los primeros organismos que no se limitaron a huir del fuego. Lo dominaron y utilizaron. Llevaban cautelosamente una rama encendida a algún lugar conveniente, la resguardaban, añadían combustible y conservaban el fuego.

Al principio, los seres humanos o sus antepasados tuvieron que depender del rayo para encender fuego. Si éste se apagaba, tenían que pedirlo a una tribu vecina o esperar que cayese otro rayo. Tardaron muchos miles de años en aprender a encenderlo, a hacer la función del rayo, por así decirlo. No sabemos exactamente cuándo ni cómo ocurrió.

Sin embargo, el mero empleo del fuego, incluso por gente que no sabía encenderlo, marcó una gran diferencia. Con fuego podían tener luz por la noche y calor en invierno. El fuego permitía disponer de más horas para las actividades y los seres humanos pudieron extenderse más allá de los trópicos en regiones más frías. El fuego asustaba a los otros animales, incluso a los depredadores, de manera que los seres humanos podían dormir tranquilos en el interior de una cueva que tuviese una hoguera ante la entrada. Esto dio más seguridad a la raza humana.

Con fuego se podía asar la carne, dándole mejor sabor y al mismo tiempo ablandando las fibras para que se pudiese masticar más fácilmente. Se podía tostar el grano y hacerlo suave y comestible, aumentando de este modo las reservas de comida. El fuego además mataba los gérmenes y parásitos de la comida, reduciendo las enfermedades.

Finalmente, los seres humanos aprendieron a cocer la arcilla, haciendo así posible la alfarería. También aprendieron a calentar arena y hacer vidrio con ella, y a calentar minerales para extraer metales. Dicho en pocas palabras, el fuego fue el principio indispensable de la tecnología humana. Por muy inteligentes que sean los delfines y otras criaturas marinas, sin fuego nunca podrán crear ni la más elemental tecnología. Y no se puede encender fuego en un mundo acuático.

¿Cuándo se empleó por primera vez el fuego? Hasta los años ochenta no se detectaron las más antiguas huellas de fuego en unas cuevas de Zukudián, cerca de Pekín, la capital de China. Allí se encontraron rastros de antiguas hogueras, de hace unos 500.000 años.

Ningún ser humano del tipo *Homo sapiens* vivió en aquellas cuevas. En realidad, el *Homo sapiens* aún no había aparecido. En aquellas cuevas vivía un homínido más simple, llamado *Homo erectus,* que se parecía más a nosotros que a cualquier clase de simio, pero que tenía un cerebro sólo un poco mayor que la mitad del nuestro.

Sin embargo era lo bastante inteligente como para descubrir la manera de conservar y emplear el fuego, y por esto hemos de estar agradecidos a este antepasado nuestro. Pero ¿fue realmente entonces cuando se empezó a utilizar el fuego?

Tal vez no, porque el 1 de diciembre de 1988, dos arqueólogos, C.K. Brain y A. Sillen, informaron que habían encontrado rastros de fogatas mucho más antiguas en ciertas cuevas de África del Sur, a unos cincuenta y seis kilómetros al oeste de Pretoria.

En estas cuevas se encontraron restos de huesos que al parecer habían sido quemados. Los huesos frescos están llenos de tuétano y de grasa. Si se queman con fuego de leña, arden y despiden mucha luz y mucho calor, como las antorchas resinosas. Al parecer eso es lo que hicieron los primitivos habitantes: utilizar antorchas de hueso para iluminarse en las cavernas y mantener calientes las cosas cuando hacía frío.

Estos huesos quemados tienen 1.500.000 años de antigüedad, tres veces más que las fogatas de Zukudián. No había rastros de huesos quemados enterrados en capas más antiguas de las cuevas; pero en cuanto comenzaron a aparecer, siguieron apareciendo en capas más recientes. En otras palabras: desde que empezó a utilizarse el fuego, siguió empleándose.

Era demasiado útil como para dejar que cayese en el olvido.

En aquellas cavernas vivieron individuos más antiguos que el *Homo erectus,* por lo que parece que aquellos homínidos empezaron a valerse del fuego poco después de su evolución.

De hecho hay señales de que también vivió en aquellas cuevas, en una época diferente, un homínido todavía más antiguo y primitivo llamado *Australopithecus robustus.* Esta especie se extinguió poco después de cuando se utilizó el fuego en las cavernas, dejando el dominio de la Tierra al *Homo erectus* y a su descendiente, el *Homo sapiens.* ¿Nos lego el *Australopithecus robustus* el uso del fuego, antes de morir? En mi opinión, no es probable aunque sí posible.

EL MANTENIMIENTO DEL FUEGO

La primera fuente de energía de la humanidad, aparte de sus propios músculos, fue el fuego, la quema de combustibles que podían encontrarse fácilmente en su entorno. Podemos progresar hacia otras fuentes de energía, pero siempre subsistirá la demanda de algo tan sencillo como quemar combustibles, y los científicos seguirán buscando combustibles mejores y más convenientes, que no se agoten rápidamente.

Casi todos los combustibles contienen átomos de carbono o de hidrógeno, o de ambos elementos a la vez. El carbono y el hidrógeno se combinan con el oxígeno para producir luz y calor, y los tres tipos de átomos son muy comunes en el medio ambiente.

Los primeros combustibles empleados por los seres humanos fueron la madera y, en grado mucho menor, grasas y aceites de plantas y animales. La madera, las grasas y los aceites, todos los cuales contienen átomos de carbono y de hidrógeno, son combustibles renovables puesto que las cosas vivas se multiplican, crecen y producen más madera, grasas y aceites, para reemplazar los que se han quemado.

Pero no del todo. Al aumentar la población humana y progresar la tecnología se necesitó cada vez más combustible, y en conjunto se quemó o consumió para más fines, del que se producía. Los bosques se redujeron.

Sin duda alguna, la humanidad no habría podido experimentar la Revolución Industrial —durante la cual se multiplicó la necesidad de combustible—, si no hubiese podido utilizar otros nuevos, sobre todo carbón, petróleo y gas natural. El carbón es el residuo de madera que se produjo hace cientos de millones de años, y se compone principalmente de carbono y algo de hidrógeno. El petróleo y el gas natural son residuos de criaturas microscópicas que vivieron hace cientos de millones de años, y se componen de átomos de carbono y de hidrógeno.

Actualmente estamos consumiendo enorme cantidades de estos «combustibles fósiles» (llamados así porque son restos de una antigua vida) y se está produciendo nuevo material a ritmo lento. En efecto, estamos viviendo de nuestro capital, las reservas de carbón, petróleo y gas acabarán por agotarse.

Tampoco podremos volver a la madera, porque si talamos los bosques (que siguen reduciéndose) al ritmo actual desaparecerán rápidamente.

Por si esto fuera poco, los combustibles que empleamos son peligrosos, incluso cuando los tenemos en abundancia.

Tanto el carbón como el petróleo contienen pequeñas cantidades de átomos de nitrógeno y de azufre, que producen óxidos venenosos y ácidos cuando se consumen. La atmósfera se contamina y las enfermedades respiratorias aumentan. Se produce lluvia ácida que contribuye a matar los bosques y contaminar los lagos.

Incluso los átomos de carbono son peligrosos porque producen dióxido de carbono cuando se queman, de manera que nuestra atmósfera va aumentando lentamente su contenido de aquella sustancia. Este contenido es todavía muy pequeño, pero el dióxido de carbono retiene eficazmente el calor, y un pequeño aumento de su proporción en la atmósfera puede cambiar de forma desfavorable el clima de la Tierra.

Por estas razones (o sea que los combustibles de la Tierra constituyen una reserva limitada y son peligrosos mientras duran), los científicos están buscando fuentes alternativas de energía.

Pero ya que he mencionado los peligros inherentes a la combustión del nitrógeno, el azufre y el carbono, ¿qué decir del hidrógeno? El hidrógeno arde más fácilmente que cualquiera de los mencionados elementos y produce mucha más energía por kilo cuando se quema. Y lo que es más, cuando se quema hidrógeno, éste sólo produce agua, que es inofensiva.

Cierto que el hidrógeno arde con tanta facilidad que tiene tendencia a estallar. Pero lo mismo ocurre con la gasolina y el gas natural. Sólo hemos de tener cuidado al manejarlos.

El verdadero problema es que el hidrógeno no existe en estado puro en la naturaleza. No puede ser partido como la madera, ni excavado como el carbón, ni extraído como el petróleo. Hay que producirlo químicamente, partiendo de sustancias que contengan átomos de hidrógeno.

Por ejemplo, tanto el carbón como el petróleo y el gas contienen átomos de hidrógeno, y se puede obtener hidrógeno puro de ellos. Pero para esto hay que emplear energía. Hay que quemar petróleo para extraer hidrógeno de otro petróleo, y de esta manera se acaba con menos combustible que al empezar.

Los científicos están buscando maneras de producir hidrógeno, de combustibles, pero sin emplear energía. Estas reacciones no consumidoras de energía suelen requerir catalizadores, y no es fácil encontrar el catalizador adecuado. Además, cuando se hayan consumido todos los combustibles, no habrá manera de obtener hidrógeno, ni con catalizadores ni sin ellos.

¿Hay algo que contenga hidrógeno y que no sea combustible? Sí, el agua, cuya novena parte de peso corresponde al hidrogeno. Pero lo malo es que la extracción de

hidrógeno del agua requiere energía. Las plantas lo hacen por medio de la fotosíntesis, que utiliza la luz del Sol como fuente de energía. Los científicos están buscando ansiosamente alguna manera de efectuar el trabajo de la fotosíntesis en el laboratorio, y de hacerlo aún mejor y más deprisa. Entonces podríamos conseguir hidrógeno del agua (más la luz del Sol), quemar el hidrógeno y tener de nuevo agua. El combustible no se acabaría nunca; duraría tanto como el Sol.

NUESTRO PRIMO EL CELACANTO

El agua es una esfera más suave y mejor para la vida que la Tierra, o lo fue alguna vez. Prueba de ello es que muchas formas de vertebrados terrestres volvieron a un medio acuático y se adaptaron para vivir en él. Pensemos tan sólo en las serpientes de agua, las tortugas de mar, los pingüinos, las focas, los manatíes, los delfines y las ballenas.

Por otra parte, los vertebrados acuáticos parece que salieron a la Tierra sólo una vez, y esto ocurrió hace 370 millones de años. Nunca volvió a suceder. La Tierra es demasiado inhóspita.

Hace unos 370 millones de años, los vertebrados que dominaban en el agua eran los peces. Había dos clases principales de peces: los de aletas con radios y los de aletas lobuladas. Los primeros tenían unas aletas finas que se mantenían rígidas por unos radios cartilaginosos, y eran excelentes para moverse en el agua.

El pez de aleta lobulada (que vivía en agua dulce) tenía unas aletas consistentes en lóbulos carnosos, festoneados tan sólo por una pequeña aleta propiamente dicha. No era tan hábil para moverse en el agua, pero tenía una ventaja.

Cuando se producía una sequía y una charca se reducía hasta el punto de resultar incómoda, el pez de aletas lobuladas podía pasar a tierra, arrastrándose sobre los lóbulos para intentar encontrar una charca más grande.

Las aletas lobuladas evolucionaron poco a poco hasta que el animal pudo moverse más fácilmente en tierra y permanecer allí durante intervalos más largos. Por último se adaptó a la tierra para permanecer indefinidamente en ella, al menos en la fase de adultos. Pero todavía tenían que volver al agua para desovar.

En definitiva, una especie particular de anfibio produjo un huevo que podía ponerse en tierra, y así nacieron los primeros reptiles. Los reptiles siguieron desarrollándose y evolucionando, y dieron lugar a numerosas formas. De algunas de éstas surgieron las aves, y de otras los mamíferos. Así pues, una estirpe particular de peces lobulados son los antepasados de todos los vertebrados terrestres, incluidos nosotros.

En cambio, en el agua, los peces de aletas lobuladas fueron poco afortunados y no pudieron competir con los de aletas con radios, que poseían mejores mecanismos natatorios. Hace unos 150 millones de años, cuando los dinosaurios aun se estaban formando, se extinguieron todos los peces de aletas lobuladas. Lo único que quedó de ellos fue su progenie, los vertebrados terrestres.

O al menos, eso se pensaba. El 25 de diciembre de 1938, una barca de arrastre que pescaba frente a la costa de África del Sur capturó un extraño pez de un metro y medio de longitud. Fue llevado a un museo local, donde una tal señorita Latimer llamó a un zoólogo sudafricano, J. L. B. Smith. Este examinó el pez y se dio cuenta de que se trataba de un asombroso regalo de Navidad. Era un pez de aletas lobuladas que estaba vivo cuando lo capturaron, aunque fue sacado muerto a la superficie.

Una rama de peces de aletas lobuladas había conseguido adaptarse al agua salada y se había instalado en aguas marinas, a moderada profundidad. Habían escapado a la

extinción pero eran poco numerosos y permanecían apartados, de manera que los zoólogos no habían advertido nunca su existencia.

Estos peces de aletas lobuladas y de agua salada fueron llamados «celacantos».

Los celacantos no eran de la misma línea de los peces de aletas lobuladas que habían pasado a tierra para convertirse en anfibios, reptiles y demás. Eran una rama pariente de los que habían permanecido en el agua. Así pues, los celacantos no son descendientes de nuestros antepasados sino una línea colateral. Más que nuestros abuelos podrían considerarse nuestros primos, y de todos los peces del mar son los que tienen un parentesco más próximo con nosotros.

Se han pescado otros celacantos. De hecho, cada año se izan a la superficie entre diez y quince ejemplares. Como no se han adaptado a la vida cerca de la superficie, generalmente ya han muerto o se están muriendo cuando pueden verlos los pescadores. Esto hace que aún no se haya tenido ocasión de estudiarlos vivos, y menos en su propio ambiente.

Un zoólogo alemán, Hans Fricke, ha conseguido observar celacantos vivos empleando un pequeño submarino con el que se sumerge cerca de las islas Comores, en el océano Indico, donde viven los celacantos.

Fricke aún está estudiando las fotografías que hizo, y que todavía no ha publicado. Pero afirma que el celacanto se mueve despacio (por lo visto todavía son malos nadadores).

Así como los peces de aletas con radios utilizan la cola para la propulsión y las aletas sobre todo para mantener el equilibrio y girar, en cambio el celacanto utiliza las aletas como si fueran paletas. «Reman» dentro del agua.

Este método es menos eficaz que el de las aletas con radio, pero significa que el celacanto, y posiblemente otros peces de aletas lobuladas, encontrarían más natural la andadura ya que para remar hacen esencialmente el mismo movimiento que el que se emplea para andar. De esta manera se adaptarían mucho más fácilmente a la vida terrestre.

Fricke dice también que los celacantos son tan poco numerosos que su pesca actual puede determinar su extinción.

Después de haber sobrevivido tanto tiempo, sería una verdadera lástima. Pero les debemos más que esto. A fin de cuentas, son nuestros primos.

EL AUMENTO INCESANTE DE LA POBLACIÓN

A principios de 1987, tal vez un poco antes o un poco después, la población de la Tierra alcanzó los 5.000 millones de personas. La imprecisión se debe a que en muchas regiones de nuestro planeta no se lleva un censo minucioso, por lo que hay que recurrir a cifras aproximadas de población.

La cifra de 5.000 millones es grande, aunque tal vez a ustedes no les parezca catastrófica. Pero consideren lo siguiente. El hombre moderno apareció sobre la Tierra hace unos 50.000 años, y la población de la Tierra no alcanzó los 1.000 millones de individuos hasta 1810. La marca de 2.000 millones se alcanzo hacia 1925. Esto quiere decir que se necesitaron 50.000 años para que la población llegase a los 1.000 millones, 115 años más para otros 1.000 millones, y sólo 30 años más para añadir otros 1.000 millones, en 1955. Después bastaron 21 años para que la población se incrementara en otros 1.000 millones, y sólo 10 años más para otros 1.000 millones, por quinta vez. Eso quiere decir que probablemente dentro de 9 años alcanzaremos los 6.000 millones.

Es evidente que la población aumenta cada vez más deprisa. Esto no es de extrañar porque cuanta más gente hay, más niños nacen. Además, como la civilización se ha

desarrollado, la vida se ha ido haciendo más segura y el índice de mortalidad ha descendido. Esto ha sido particularmente cierto en el último siglo y medio, gracias a la ciencia y a la medicina modernas. (Lo que importa ahora no es cuántos niños nacen sino en cuánto supera el número de nacimientos al de defunciones.)

Esto es peligroso. El aumento incesante de la población significa que cada vez se necesita más espacio para los seres humanos y que se está agotando el terreno no habitado. Para mantener el creciente ritmo de población hay que extraer cada vez más recursos de la Tierra, lo cual produce todo tipo de contaminación. Estamos destruyendo nuestro planeta.

¿Cuánto puede durar esto? No mucho. No es probable que la Tierra pueda mantener a mucha más gente. He oído decir a algunos locos optimistas que con los avances de la ciencia y poniendo fin a los despilfarros que suponen las guerras y su preparación, la Tierra podrá mantener una población de 50.000 millones. Dudo mucho de que esto pueda ser verdad, pero aunque lo fuese, al ritmo actual de crecimiento la Tierra alcanzaría una población de 50.000 millones en sólo un siglo, es decir, en el año 2100. Y después, ¿qué?

¿No podríamos enviar el sobrante de población a la Luna o a Marte, o hacer que viva en mundos artificiales en órbita alrededor de la Tierra? En tal caso esto significaría que en el próximo siglo tendríamos que trasladar a 45.000 millones de personas al espacio para mantener la población de la Tierra en los actuales 5.000 millones. ¿Cree realmente alguien que podemos hacerlo?

Pero llevemos el asunto al extremo absoluto. Se cree que el total de la materia del universo pesa unos 200 millones de millones de millones de millones de millones de millones de toneladas. Supongamos que podemos superar todos los obstáculos y enviar seres humanos a todos los rincones del universo y convertir todas las estrellas y planetas en fuentes de nutrición y de oxígeno respirable. Entonces podríamos comerlo todo y la población aumentaría hasta 4.000 millones de millones de millones de millones de millones de millones de personas. ¿Cuánto tiempo llevaría esto? ¿1.000 millones de años? ¿Un billón de años?

Pues no. A nuestro ritmo actual de crecimiento, y en el caso de que éste continuase indefinidamente, sólo se requerirían 3.500 años.

Habríamos poblado de seres humanos todo el universo en el año 6500 d. de C. Es evidente que no vamos a hacer esto, y que por tanto el crecimiento de la población tendrá que interrumpirse..., ¡y pronto! Pero ¿cómo? En realidad sólo hay dos maneras de frenar el aumento incesante de la población: o elevar el índice de mortalidad hasta que el número de personas que mueren sea superior al de las que nacen, o reducir el índice de natalidad hasta que el número de personas que nacen sea menor que el de personas que mueren.

La manera que tiene la naturaleza de reducir la población es elevando el índice de mortalidad. Al aumentar el número de todas las especies se llega a un punto en que predomina el hambre, las enfermedades y los depredadores. En una palabra, si no hacemos nada, el índice de mortalidad aumentará sin nuestra ayuda. La humanidad sufrirá hambre, epidemias y guerras, y la población se verá reducida de un modo catastrófico. Y en este proceso la civilización podría quedar totalmente destruida. No creo que ninguna persona sensata pueda considerar esto como una solución adecuada del problema.

Como ya he dicho, la alternativa es reducir el índice de natalidad. La abstención voluntaria de la actividad sexual podría dar resultado, pero no es lógico esperar que esto se produzca a gran escala. Por tanto, la gente debería aprender a usar anticonceptivos. Su uso se está fomentando intensamente en diversas partes del mundo. En China, por

ejemplo, el índice de natalidad ha descendido drásticamente. Este índice ha descendido también en todo el mundo desde su punto más álgido en 1970, lo cual es una señal prometedora, aunque no suficiente.

Hay quienes consideran inmoral el uso de los anticonceptivos, pero en tal caso cabe preguntarse: ¿es moral la muerte masiva y la destrucción de la civilización?

II. FRONTERAS DE LA CIENCIA

LOS RAYOS X MÁS BRILLANTES

Los científicos pueden tomar fotografías de moléculas en una diez mil millonésima de segundo. Éste es un intervalo tan breve que los átomos que constituyen la molécula no tienen tiempo de ir muy lejos y son pillados, por así decirlo, a medio camino.

Los orígenes de esta técnica se remontan aproximadamente a unos tres cuartos de siglo, cuando se comprendió que los rayos X estaban constituidos por ondas diminutas. Las ondas son tan pequeñas que pueden deslizarse entre los átomos de sustancias cristalinas.

Los átomos de los cristales están dispuestos de manera ordenada en diversos niveles, hileras y capas. En 1912, un científico alemán, Max von Laue, descubrió que si los rayos X chocaban contra un cristal, rebotaban en estas ordenadas disposiciones de átomos y eran difractados; es decir, desviados de su curso original. Si después de atravesar un cristal chocaban con una placa fotográfica, producían un dibujo simétrico de puntos que dependía de la manera en que fuesen difractados por las diferentes capas de átomos. Partiendo de este dibujo de difracción de los rayos X, los científicos podían calcular la posición de las capas de átomos y deducir la estructura del cristal.

En definitiva, esto pudo hacerse no sólo en cristales de sustancias simples, como la sal común, sino también con series ordenadas de moléculas complejas, como las proteínas y los ácidos nucleicos. Los científicos establecieron de esta manera la estructura atómica de la hemoglobina (la materia portadora de oxígeno que da a la sangre su color) y del ácido desoxirribonucleico (el ADN, portador de características hereditarias).

Pero había una pega. La manera ordinaria de producir un haz de rayos X consistía en hacer que una corriente de electrones a gran velocidad chocase con un objeto metálico. El súbito frenado de los electrones al chocar generaba los rayos X. Pero estos rayos eran débiles y tan tenues que para obtener buenos dibujos de difracción a menudo se tenía que exponer un objeto a los rayos X durante horas e incluso días.

Durante todo este tiempo, los átomos de los objetos se movían rápidamente, vibrando alrededor de algún punto. Por consiguiente, el dibujo de difracción tendía a mostrar sólo aquel punto y no había manera de saber qué hacían los átomos en el curso de sus vibraciones. Este era un gran inconveniente en el caso de moléculas complejas. Por otra parte, la larga exposición aumentaba la posibilidad de que un rayo X pudiese dañar algún átomo y alterar su disposición, sobre todo cuando se trataba de proteínas y otras moléculas de estructura atómica compleja y frágil.

Hay otra manera de obtener rayos X. Se hacen girar electrones en círculo, bajo la influencia de un campo magnético intenso. Se requiere una gran cantidad de energía para obligar a los electrones a desviarse de su trayectoria en línea recta, y esta energía se emite hacia fuera en forma de rayos X, y en un haz también muy poderoso.

En los últimos años, estos haces de electrones giratorios se han empleado para producir destellos extraordinariamente breves de haces de rayos X de gran intensidad. En el otoño de 1987, científicos de MIT emplearon un destello de rayos X que sólo duraba unas milésimas de segundo para formar un esquema de difracción de la hemoglobina. Esto fue mejor que lo que se había conseguido hasta entonces, pero aún no era lo bastante rápido para «congelar» la molécula en un estado de inmovilidad.

Sin embargo, ahora se han producido haces de rayos X tan poderosos que una molécula compleja e importante para un tejido vivo sólo necesita estar expuesta a estos rayos una diez mil millonésima de segundo. Para conseguir un haz tan poderoso, los

electrones tienen que hacer algo más que girar en un sencillo círculo: al hacerlo, oscilan hacia atrás y hacia delante.

Este aparato modificado, llamado «ondulador», ha sido empleado con éxito en la Universidad de Cornell.

Estos haces poderosos señalarán la posición de cada átomo a media vibración con una precisión considerable. Los rayos X tampoco tendrán tiempo de causar daño a los átomos. Si los esquemas de difracción se consiguen en tiempos diferentes, los átomos se verán en posiciones algo distintas y se podrán determinar las diversas oscilaciones de la molécula. Esto puede darnos una visión sin precedentes de cómo funcionan tales moléculas dentro de células vivas.

La pega (siempre hay una pega en todo) es que el ondulador requiere mucho espacio y es muy caro. Esta clase de operación ultrarrápida con rayos X no puede realizarse en cualquier laboratorio, y por el momento está limitada a unos pocos centros de alta tecnología.

Ahora los científicos proyectan construir, tal vez para 1995, un aparato constituido nada menos que por treinta y cinco onduladores, cada uno de ellos más poderoso que el que actualmente se está empleando en Cornell.

Los rayos X de gran intensidad producidos de esta manera deberían ser ideales para el estudio, por ejemplo, de la estructura de los nuevos materiales superconductores y para ayudar a los científicos a determinar qué disposición atómica es necesaria para obtener superconductividad a temperaturas todavía más altas. Podrían emplearse también para estudiar la estructura de los meteoritos y obtener ideas más precisas sobre la composición química original del sistema solar, y para determinar la presencia de diversas impurezas diminutas en materiales donde son perjudiciales... o necesarias. Y para muchas más cosas, desde luego.

RECOMPENSA TARDÍA

Ernest A. F. Ruska, ingeniero eléctrico alemán, compartió en 1986 el Premio Nóbel de Física con otro científico. ¿Qué hizo para merecer el premio? Construyó el primer microscopio electrónico eficaz.

Los microscopios ordinarios, por los que ustedes y yo hemos mirado alguna vez, emplean ondas de luz. Estas ondas son enfocadas por las lentes del microscopio de manera que objetos demasiados pequeños para ser observados a simple vista se amplían de modo que pueden ser examinados con detalle. Pero no se les puede aumentar más. El microscopio ordinario sólo puede hacer visibles aquellos objetos que como mínimo son tan grandes como una onda de luz. Una onda de luz salta simplemente sobre un objeto más pequeño que ella y no puede hacerlo visible.

Supongamos que enfocásemos rayos X en vez de luz. Los rayos X tienen ondas diminutas de una milésima o menos del tamaño de las ondas luminosas. Entonces podríamos ver objetos mil veces más pequeños que los que podemos ver a través de los microscopios ordinarios. Lo malo es que los rayos X son demasiado energéticos. Atraviesan los objetos diminutos que deberían hacer visibles, y no los vemos.

Pero en 1924 se descubrió que los electrones (que todo el mundo consideraba entonces minúsculas partículas de materia) en realidad también tenían las propiedades de las ondas.

Usando campos electrónicos de la manera adecuada, podían enfocarse los electrones de la misma manera que las ondas luminosas. Además, las ondas de electrones no eran más grandes que los rayos X, pero no atravesarían la materia atropelladamente como hacían éstos. Los electrones rebotaban en la materia como la luz, y así podíamos «ver»,

gracias a las diminutas ondas de electrones, mucho más de lo que revelaban las ondas de luz más largas.

Siete años más tarde, en 1931, Ruska construyó el primer microscopio que realmente podía «ver» con electrones. Pero si esto fue así, ¿por qué no se concedió entonces el Premio Nóbel a Ruska? ¿Por qué no lo consiguió hasta 1986, cincuenta y cinco años después, cuando tenía ochenta? Desde luego el primer aparato era tosco y no funcionó tan bien como los microscopios ordinarios, pero estableció el principio y condujo con toda seguridad a grandes adelantos. Entonces, ¿por qué semejante retraso?

Cuando murió Alfred B. Nóbel en 1896 y dejó dinero para unos premios anuales, su propósito fue que se honrase cada año a los científicos por algo que hubiesen hecho durante el año anterior. Pero resultó que no siempre era fácil determinar exactamente qué descubrimiento realizado el año anterior podía resultar importante.

Algunas veces, algo parecía magnífico pero luego empezaba a fallar lentamente. Por ejemplo, un físico francés, Gabriel J. Lippmann, recibió en 1908 el Premio Nóbel por un procedimiento de fotografía en color que en definitiva no fue nada.

En 1903, un médico danés, Miéls R. Finsen, recibió el Premio Nóbel en recompensa por un tratamiento con luz de enfermedades de la piel, que resultó no tener la menor importancia.

En 1926, otro médico danés, Johannes A. G. Fibiger, recibió el Premio Nóbel por haber descubierto que ciertos tipos de cáncer podían ser causados por un gusano parásito, pero más tarde se comprobó que el gusano no tenía nada que ver con la dolencia.

Los que otorgaban los premios Nóbel aprendieron por experiencia que era mejor no precipitarse. Por muy interesante que pudiese parecer un descubrimiento, era mejor esperar y asegurarse de que la promesa no era infundada. Naturalmente, hay veces en que un descubrimiento parece del todo seguro y los jueces no pueden esperar. En 1956, dos jóvenes físicos chinos descubrieron que algo llamado «paridad» no tenía que conservarse necesariamente. Esto trastornó ciertas reglas muy fundamentales de la física, y al año siguiente recibieron muy merecidamente el Premio Nóbel.

Pero en general hay que esperar. Albert Einstein explicó en 1905 el efecto fotoeléctrico por la teoría de los cuantos, y contribuyó con ello a establecer una de las dos grandes teorías físicas del siglo XX. Recibió el Premio Nóbel dieciséis años más tarde, en 1921. (Por aquel tiempo había establecido la validez de su otra gran teoría física, la relatividad, una hazaña todavía más grande pero que no fue la que le valió el premio.)

En 1911, el médico americano Francis P. Rous descubrió un virus que parecía producir el cáncer. Fue un descubrimiento útil e importante, pero no recibió el premio por ello hasta 1966, después de cincuenta y cinco años de espera, como Ruska. Rous tenía entonces ochenta y seis años.

Desde luego, algunas veces los científicos no envejecieron tanto y nunca recibieron el Premio Nóbel, aunque su trabajo lo merecía sobradamente. En 1914, un físico inglés, Henry G. J. Moseley, descubrió lo que llamamos «números atómicos». Esto explicaba muchas cosas de los elementos químicos y era absolutamente merecedor del Premio Nóbel. Lo cierto es que varios científicos, que prosiguieron los trabajos de Moseley en años posteriores, lo recibieron por lo que había hecho él.

Pero Moseley no recibió el premio por una sencilla y trágica razón. En el mismo año de su descubrimiento estalló la Primera Guerra Mundial y Moseley se alistó inmediatamente.

En 1915 murió en Gallípoli. Tenía sólo veintisiete años. Una de las inteligencias jóvenes más preclaras de su época fue sacrificada inútilmente en una batalla mal dirigida: todo un símbolo de la locura y futilidad de la guerra.

EL ELEMENTO MÁS NOBLE

Las combinaciones de átomos constituyen todo lo que vemos a nuestro alrededor en la Tierra, pero algunos átomos son más reacios que otros a entrar a formar parte en combinaciones. No obstante, a primeros de 1988, un químico americano llamado W. Koch demostró que incluso el átomo menos sociable puede ser obligado a entrar a formar parte en una combinación.

Los átomos que con menos probabilidad se asocian con otro son los del grupo de elementos conocidos con el nombre de «gases nobles» (llamados así porque los atributos de distanciamiento y exclusividad se asocian con la nobleza).

Hay seis gases nobles, que por orden de tamaño creciente de sus átomos son los siguientes: helio, neón, argón, criptón, xenón y radón. Ninguno de ellos se combina con otros átomos en condiciones ordinarias. Existen sólo como átomos individuales.

De hecho, los átomos son tan indiferentes a la presencia de otros de su propia clase que no tienden a juntarse entre sí hasta el punto de formar líquidos, de manera que ninguno se licua a temperaturas ordinarias. No son más que gases y se encuentran en la atmósfera.

El primer gas noble que se descubrió fue el argón, en 1894.

También es el más común pues constituye el uno por ciento de la atmósfera. Los otros fueron descubiertos pocos años más tarde y sólo existen sobre la Tierra en pequeñas cantidades.

Los átomos se combinan entre sí cuando uno da o comparte electrones con otro. Los gases nobles no hacen esto porque sus electrones están colocados con tanta simetría dentro de sus átomos que cualquier cambio requiere una gran aportación de energía, que no es probable que se produzca.

Un átomo grande de gas noble, como el radón, tiene sus electrones más exteriores (los que actúan en el enlace químico) muy lejos del núcleo. Por consiguiente, la atracción entre los electrones más exteriores y el núcleo es relativamente débil.

Por este motivo el radón es el menos noble de los gases nobles y el que más probablemente será obligado a entrar en una combinación por químicos que establezcan las condiciones adecuadas para ello.

Cuanto más pequeño es el átomo de gas noble, más cerca están los electrones exteriores del núcleo. Por esta razón se mantienen con más fuerza en su sitio, haciendo más difícil que el átomo forme una combinación con otro.

De hecho, los químicos han obligado a los gases nobles de átomos grandes —criptón, xenón y radón— a combinarse con átomos tales como los del flúor y el oxígeno, que están particularmente deseosos de aceptar electrones.

Los gases nobles de átomos más pequeños —helio, neón y argón— son lo bastante pequeños y por ende lo bastante nobles como para que ningún químico haya podido obligarles hasta ahora a combinarse.

El gas noble con el átomo más pequeño es el helio. De todos los diferentes tipos de elementos, es el que tiene menos probabilidades de formar combinaciones. Es el elemento más noble de todos y tan reacio a asociarse, incluso con otros átomos de helio, que no se convierte en liquido hasta que se alcanza una temperatura de sólo cuatro grados sobre el cero absoluto. El helio líquido es el líquido más frío que puede existir y de crucial importancia para los científicos, para el estudio de tan bajas temperaturas.

El helio está presente en la atmósfera en cantidades ínfimas, pero cuando se desintegran elementos radiactivos, como el uranio y el torio, forman helio. Éste se acumula en el suelo, y ciertos pozos de petróleo producen también helio. Éste es un recurso limitado, pero todavía no se ha agotado.

Cada átomo de helio tiene sólo dos electrones. Sujetos con tal fuerza por el núcleo que arrancar uno de ellos requiere más energía que la necesaria para extraer un electrón de cualquier otro elemento. Con esta sujeción tan fuerte, ¿puede conseguirse que un átomo de helio suelte un electrón, o lo comparta, y forme una combinación con cualquier otro átomo?

Para calcular el comportamiento de los electrones, los químicos emplean una teoría matemática llamada «mecánica cuántica», formulada en los años veinte. Koch, el químico, aplicó estos principios al helio.

Supongamos por ejemplo que un átomo de berilio (con cuatro electrones) se combina con un átomo de oxígeno (con ocho electrones). En la combinación, el átomo de berilio cede dos electrones a los átomos de oxígeno, a los cuales se aferran como resultado. La mecánica cuántica muestra que el lado del átomo de berilio más alejado del de oxígeno resulta muy pobre en electrones.

Según las ecuaciones de la mecánica cuántica, si llega un átomo de helio compartirá sus dos electrones con el lado del átomo de berilio pobre en electrones. Y se formará la combinación helio-berilio-oxígeno.

Hasta ahora, ninguna otra combinación de átomos parece tener las condiciones adecuadas para atrapar el helio, y hasta es posible que la combinación helio-berilio-oxígeno sólo se mantenga a temperaturas lo bastante bajas como para licuar el aire. Ahora es necesario que los químicos trabajen con materiales a bajísimas temperaturas para ver si pueden hacer que la práctica confirme la teoría, atrapando el helio en una combinación y venciendo así al más noble de los átomos.

EL AUMENTO DE LA TEMPERATURA

Los científicos no esperan encontrar la perfección, pero a veces la encuentran. En 1911, el físico holandés Heike K. Onnes bajaba la temperatura del mercurio hacia el cero absoluto. El cero absoluto es la temperatura más baja posible y es igual a -273 °C (-459 F). Onnes estudiaba la manera en que el mercurio conducía la electricidad a temperaturas muy bajas.

Esperaba que su resistencia al paso de la corriente eléctrica decreciese de manera regular al bajar la temperatura.

Pero no fue así. A 4,12 grados sobre el cero absoluto, la resistencia desapareció de pronto y por completo. La conductividad eléctrica del mercurio se hizo perfecta. Cualquier corriente eléctrica descargada en un anillo de mercurio helado a una temperatura de menos de 4,12 grados sobre el cero absoluto, seguiría fluyendo sencillamente, sin reducirse y para siempre. Este efecto fue conocido con el nombre de «superconductividad».

Se observó la superconductividad para otros elementos cuando se enfriaron al máximo. Algunos sólo se convirtieron en superconductores a temperaturas todavía más bajas que el mercurio, y en cambio otros a temperaturas bastante más altas. La altura récord para un elemento es la del metal radiactivo tecnecio, que se convierte en superconductor a los 11,2 grados sobre el cero absoluto.

La superconductividad tiene un interés más que teórico. Si la electricidad se pudiese transportar por cables en condiciones superconductoras, no habría pérdida por resistencia y se ahorrarían miles de millones de dólares. También es posible emplear la

superconductividad para producir imanes muy potentes, cosa que sería enormemente importante en la construcción de grandes máquinas para la desintegración del átomo. La superconductividad resultaría también útil en ordenadores avanzados y en otros muchos aspectos de la alta tecnología actual.

Pero hay una pega. Para mantener un sólido a tan baja temperatura tendría que permanecer sumergido en un líquido que hirviese a aquella temperatura. El líquido no puede calentarse por encima de su temperatura de ebullición; simplemente, hierve y se evapora lentamente. Si se añade más líquido, se puede mantener sin dificultad la temperatura extraordinariamente baja.

De hecho, sólo un líquido puede existir a temperaturas inferiores a 14 grados sobre el cero absoluto: el helio líquido.

Todo lo demás, incluso el aire que nos rodea, se solidifica a tales temperaturas.

El helio líquido hierve a cuatro grados sobre el cero absoluto. Cualquier cosa que se sumerja en helio líquido que hierva lentamente permanece indefinidamente a cuatro grados sobre el cero absoluto. Pero el helio es una sustancia rara, y es muy difícil mantener el helio líquido lo bastante frío para evitar que hierva y se evapore rápidamente. Esto limita enormemente el empleo de la superconductividad.

Después del helio, los líquidos más fríos son el hidrógeno líquido y el neón líquido. El hidrógeno se licua entre 14 y 20 grados sobre el cero absoluto. Cualquier cosa sumergida en hidrógeno líquido que hierva lentamente permanecerá indefinidamente a 20 grados sobre el cero absoluto. Y cualquier cosa que se sumerja en neón líquido que hierva lentamente permanecerá indefinidamente a 27 grados sobre el cero absoluto.

El hidrógeno es mucho más común que el helio, pero sus vapores son explosivos. El neón es relativamente raro, pero más común que el helio y, como éste, sus vapores son completamente inertes y no causan problemas. Mantener el hidrógeno o el neón en estado líquido es mucho más fácil y menos caro que mantener el helio en ese mismo estado.

Por consiguiente, desde hace mucho tiempo los físicos se han mostrado ansiosos por descubrir alguna sustancia que sea superconductora a las temperaturas del hidrógeno líquido.

Los elementos puros no servirían, sencillamente; pero hay una alternativa.

Cuando se mezclan elementos sólidos (generalmente metálicos), muchas veces la mezcla o aleación tiene propiedades que no son exactamente iguales a las de cualquiera de sus componentes separados. Cuando los científicos estudiaron las aleaciones, descubrieron que algunas de ellas eran superconductoras a temperaturas más altas que las de cualquier elemento puro. En 1968 se descubrió que una aleación de niobio, aluminio y germanio era superconductora a 21 grados sobre el cero absoluto. Durante los dieciocho años siguientes se estudiaron reajustes en los porcentajes de la mezcla, y en 1984 se descubrió una aleación de niobio y germanio que era superconductora a 24 grados sobre el cero absoluto. Se había hecho posible la superconductividad del hidrógeno líquido, pero a duras penas.

Y entonces, a finales de 1986, se dieron a conocer dos descubrimientos sorprendentes. La Universidad de Houston dio a conocer que una aleación de lantano, bario, cobre y oxígeno era superconductora a 40 grados sobre el cero absoluto. Pero había una pega: para mantener la superconductividad a una temperatura tan alta, la aleación tenía que hallarse bajo una presión de cientos de miles de kilos por centímetro cuadrado. Pero en los Laboratorios Bell se informó de una aleación totalmente superconductora a 36 grados sobre el cero absoluto, y que seguía siéndolo en condiciones ordinarias. No se requería presión alguna. Esto parece indicar que la

superconductividad del hidrógeno líquido se encuentra en camino de su utilización práctica.

Posiblemente se alcanzarán temperaturas superconductoras todavía más altas. Temperaturas de 78 grados sobre el cero absoluto podrían ser teóricamente posibles, y esto posibilitaría la utilización del nitrógeno líquido, con la consiguiente ventaja pues el nitrógeno es más común y más seguro. Lo ideal es la superconductividad a temperaturas ordinarias, e incluso esto es posible que algún día pueda alcanzarse.

EL ROMPEDOR SUPREMO DEL ÁTOMO

Al principio les llamaron rompedores de átomos. Mas tarde, se les dio el nombre científicamente más exacto de «aceleradores de partículas», pero aquello era más dramático.

Para el público siguen siendo rompedores de átomos.

La idea de aceleradores de partículas es la que expresa su nombre. Mediante imanes se hace que partículas subatómica; diminutas, con carga eléctrica, se muevan cada vez más deprisa. En definitiva, cuando han sido aceleradas hasta la mayor velocidad posible, las partículas se estrellan contra un blanco.

Cuanto más rápidas son las partículas y mayor es su masa, más fuerte es la colisión y mayor la energía producida. La energía se convierte parcialmente en masa y esto produce nuevas partículas, algunas de ellas tan masivas que normalmente no se observarían en la naturaleza.

El primer acelerador de partículas se construyó en 1928 y produjo partículas veloces con energías de casi 400.000 electrón-voltios. Tales instrumentos tenían que acelerar las partículas en línea recta, de manera que para alcanzar cada vez mayor energía había que hacer que los instrumentos tuviesen kilómetros de longitud, con lo cual no resultaban nada prácticos.

En 1931, Ernest O. Lawrence, de la Universidad de California, tuvo la brillante idea de hacer que las partículas se moviesen describiendo trayectorias helicoidales entre los polos de un imán. Llamó «ciclotrón» al aparato. En estas instalaciones las partículas podían recorrer una larga distancia describiendo trayectorias helicoidales, sin requerir mucho espacio.

En realidad, el primer ciclotrón tenía sólo treinta centímetros de ancho y costó muy poco dinero; pero podía producir partículas con una energía de 1.250.000 electrón-voltios.

Inmediatamente se empezaron a construir ciclotrones más grandes y se obtuvo más energía de ellos. En 1939, la Universidad de California tenía uno de metro y medio de ancho capaz de producir partículas con energías de 20 millones de electrón-voltios.

El diseño de estos aparatos fue continuamente mejorado, y a finales de la Segunda Guerra Mundial había aceleradores de partículas que producían energías de 200 a 400 millones de electrón-voltios. En 1949 se generaron energías de hasta 24.000 millones de electrón-voltios.

Estas instalaciones energéticas podían producir cantidades de partículas de «antimateria», por ejemplo antiprotones. Éstos habían sido predichos en teoría, pero nunca habían sido observados, hasta que se produjo energía suficiente para formarlos.

Pero al objeto de hacer rompedores de átomos realmente potentes, las partículas aceleradas tenían que girar describiendo curvas cada vez más amplias; esto ha hecho que los aparatos actuales tengan kilómetros de diámetro. Requieren enormes y poderosos electroimanes. Para ser lo bastante potentes, los electroimanes tenían que ser superconductores, de manera que la corriente eléctrica que producían los imanes no

sufriese pérdida alguna. Esto sólo puede conseguirse cuando los conductores se mantienen, en helio líquido, a cuatro grados sobre el cero absoluto.

Todo esto ha hecho que los aceleradores de partículas resulten enormemente caros, y nadie puede encontrar dinero suficiente para construirlos, salvo los gobiernos, y en algunos casos varios gobiernos asociados.

El mayor acelerador de Estados Unidos está en Batavia, Illinois, y tiene seis kilómetros y medio de circunferencia.

Pero no es en modo alguno el más grande del mundo. La Unión Soviética y un grupo de naciones europeas occidentales tienen sendos aceleradores más grandes, y están diseñando otros todavía mayores. Los rusos proyectan uno de veinticuatro kilómetros de circunferencia, y un consorcio europeo occidental (CERN) proyecta otro con una circunferencia de treinta kilómetros.

Los recientes descubrimientos en física subatómica han venido de Europa, y Estados Unidos teme perder la delantera en la ciencia básica. Todavía hay que producir partículas importantes. Hay un sexto quark, predicho pero todavía no observado. Hay algo llamado partícula de Higgs, que teóricamente es importante pero nos elude. Hay otras partículas no encontradas, como los monopolos magnéticos y, tal vez, otras totalmente inesperadas.

Por consiguiente, Estados Unidos proyecta construir un acelerador de partículas que tendrá una circunferencia de casi cien kilómetros y costará no menos de 6.000 millones de dólares. Producirá partículas con una energía veinte veces mayor que la generada por cualquiera de los aceleradores existentes. Estas partículas serán enviadas en direcciones opuestas, de modo que choquen entre sí.

¿Es útil encontrar partículas cada vez más raras y de energía cada vez mayor? Sí, porque cuando empezó el universo con el big bang intervinieron energías increíbles que nunca podremos alcanzar. Cuanto más alta sea la energía que produzcamos, más probable será que lleguemos a reproducir lo que ocurrió al principio y más sabremos acerca del universo.

Pero no es probable que podamos llegar más lejos. Gastar más de 6.000 millones de dólares para hacer máquinas aún más grandes puede resultar difícil. Algunos científicos piensan con inquietud que gastar tanto dinero en un solo aparato puede dejar sin recursos a otras áreas de la ciencia que también tienen una importancia crucial.

LAS DOS NADAS

El Premio Nóbel de Física de 1988 fue otorgado a tres americanos, León Lederman, Melvin Schwartz y Jack Steinberger, por sus trabajos con partículas subatómicas que se acercan a la nada hasta el máximo de lo posible.

Estas partículas reciben el nombre de «neutrinos». No tienen masa. No tienen carga eléctrica. Son tan indiferentes a la materia que pueden pasar a través de un billón de kilómetros de plomo sólido y sólo unas pocas serán detenidas. Los físicos premiados trabajaron con estas partículas de nada a principios de los años sesenta.

Estaban interesados en la interacción débil, una de las cuatro maneras en que las partículas pueden interactuar. La interacción gravitatoria mantiene unido el universo; la interacción fuerte mantiene unidos los núcleos atómicos; la interacción electromagnética mantiene unidos los átomos y las moléculas, y la interacción débil permite que algunos núcleos se rompan.

Era muy difícil estudiar la interacción débil, y Melvin Schwartz pensó que la manera de hacerlo era empleando haces de neutrinos. Los neutrinos sólo son afectados por la

interacción débil. Esta es la principal razón de que puedan pasar a través de la materia ordinaria como si ésta no existiese.

Pero ¿cómo se forma un haz de neutrinos? Una manera es empezando con un haz de protones, que tienen masa y carga eléctrica y pueden ser fácilmente acelerados hasta altas energías. Si se hace chocar un haz de protones contra materia, produce una espesa lluvia de partículas energéticas. Entre estas partículas están los «piones», que se desintegran rápidamente en otro tipo de partículas llamadas «muones», y en neutrinos.

Lederman, Schwartz y Steinberger trabajaron conjuntamente con estos haces. Dejaron que la lluvia de partículas cayese sobre planchas de acero que habían conseguido de un acorazado que estaba siendo desmantelado. Amontonaron las planchas hasta formar un grueso de diez metros. Detuvieron todas las partículas, menos los neutrinos. Al otro lado de las planchas, los investigadores obtuvieron un haz constituido sólo por neutrinos.

Para que los investigadores pudiesen utilizar este haz de neutrinos y deducir los detalles de cómo funcionaba la interacción débil, los neutrinos tenían que ser absorbidos por la materia y producir cambios en ella. Ahora bien, los neutrinos atraviesan la materia, pero no siempre. En un haz de billones de neutrinos, la mayoría de ellos pasan a través de la materia, pero unas cuantas docenas quedan detenidos.

Debido a esto es posible estudiar los propios neutrinos. Lo primero que hemos de saber es en qué se diferencian, si se diferencian, los distintos tipos de neutrinos.

Los neutrinos se forman de dos maneras. Siempre que se forma un muon a partir de un pión, se forma también un neutrino. Cuando se forma un electrón a partir de un muon, se forma otro neutrino. Hay por tanto dos neutrinos: el «neutrino muónico», que acompaña a la formación del muon, y el «neutrino electrónico», que acompaña a la formación del electrón.

El muon es idéntico al electrón en todo lo que sabemos de el, salvo en una cosa. El muon tiene una masa aproximadamente doscientas veces mayor que la del electrón; es un «electrón pesado». En cambio no había tanta diferencia entre el neutrino muónico y el neutrino electrónico. Ambos eran exactamente iguales en todas las medidas que podían tomar los físicos. ¿Significaba esto que en realidad eran partículas idénticas?

Los tres físicos intentaron resolver esta cuestión mediante lo que ahora se llama «experimento de los dos neutrinos», empleando los haces de neutrinos que habían aprendido a producir. Los haces de neutrinos se componían de neutrinos muónicos, pues habían sido formados junto con muones.

Ahora bien, cuando estos neutrinos fuesen absorbidos por la materia, tenían que formar muones.

Si los neutrinos muónicos eran partículas separadas, distintas de los neutrinos electrónicos, sólo deberían producirse muones. Por otra parte, si los neutrinos muónicos y los neutrinos electrónicos eran la misma partícula, el haz de neutrinos debería producir electrones y muones, probablemente en cantidades iguales.

Durante ocho meses, Lederman, Schwartz y Steinberger estuvieron bombardeando materia con haces de neutrinos.

Cientos de miles de millones de neutrinos muónicos chocaron contra la materia, pero en aquellos ocho meses sólo fueron detenidos cincuenta neutrinos. Cada uno de ellos produjo un muon.

Esto evidenció que los neutrinos muónicos y los neutrinos electrónicos eran partículas diferentes y distintas, pero ni siquiera hoy saben exactamente los físicos qué es lo que hace que sean diferentes. Todas sus propiedades susceptibles de ser medidas parecen idénticas; pero aunque los científicos no puedan distinguirlos, en cambio

pueden hacerlo otras partículas subatómicas. Esto significa que hay dos nadas, dos nadas diferentes.

De hecho todavía hay algo peor, pues unos doce años después del experimento de los dos neutrinos, hubo que tener en cuenta un tercer neutrino, un «neutrino tauónico». Posiblemente éste es diferente de los otros dos, con lo que nos hallamos ante tres nadas que se diferencian de alguna manera que no podemos detectar.

Sin embargo, esta diferencia no detectable es importante en la formulación de sutiles teorías sobre la estructura básica de la materia. El experimento de los dos neutrinos bien valía un Premio Nóbel.

SUPERCRÍTICO

PREGUNTA: ¿Qué es una cosa que no es líquido ni gas pero que tiene algo de ambos?

RESPUESTA: «El fluido supercrítico», que los científicos están aprendiendo ahora a utilizar bien.

Ordinariamente, los líquidos y los gases son muy diferentes. Un líquido tiene un volumen definido; se puede llenar un recipiente hasta la mitad con líquido. Un gas no tiene un volumen definido; siempre llenará del todo el recipiente que lo contenga.

Un líquido puede disolver sólidos y otros líquidos, pero el gas no puede hacerlo.

Un líquido es mucho más denso que un gas. El agua líquida es 1.250 veces más densa que el agua gaseosa (vapor). Dicho en otras palabras, 500 centímetros cúbicos de agua pesan 1.250 veces más que 500 centímetros cúbicos de vapor.

Se puede transformar un líquido en gas mediante la aplicación de calor. Así, cuando se calienta agua, se alcanza al fin el punto de ebullición y entonces burbujea y se convierte en vapor. El punto de ebullición, en condiciones ordinarias y a nivel del mar, es de 100 °C (212 F).

Sin embargo, si queremos evitar que el agua hierva a los 100 °C debemos someterla a presión para, por así decirlo, mantener sus moléculas apretadas. Si la temperatura continúa subiendo, hay que ejercer cada vez más presión para impedir que el agua hierva. En definitiva, si la temperatura es lo bastante alta, ninguna presión impedirá que hierva.

La temperatura a la que hierve un líquido, con independencia de la presión, es la temperatura crítica. La temperatura crítica para el agua es la de 374,2 °C (705,6 F). La presión crítica, que mantendrá el agua líquida a aquella temperatura, es de 218,3 veces la presión atmosférica ordinaria.

Por encima de aquella temperatura y presión, tenemos agua supercrítica. Al igual que el vapor, no tiene volumen definido y llenará cualquier recipiente. Sin embargo es mucho más densa que el vapor; de hecho su densidad es un tercio del agua líquida. Pero su propiedad más asombrosa es que disuelve sustancias como el agua líquida.

Todo líquido tiene su temperatura crítica y su presión crítica, algunos más elevadas que las del agua, y otros menos.

Esto fue descubierto en 1869 por un químico irlandés llamado Thomas Andrews. El dióxido de carbono, por ejemplo, tiene una temperatura crítica de 31 °C (88 F) y una presión crítica de 72,85 atmósferas. El hidrógeno tiene una temperatura crítica de -204 °C (-400 F) y una presión crítica de 12,8 atmósferas.

Naturalmente no encontramos fluidos supercríticos en la naturaleza, en las circunstancias ordinarias de la superficie de la Tierra, pero pueden existir en el centro de planetas donde las temperaturas y las presiones sean lo bastante elevadas. El interior del planeta gigante Júpiter, por ejemplo, está en gran parte constituido por hidrógeno supercrítico a una temperatura de docenas de miles de grados.

En el laboratorio, los científicos han conseguido alcanzar temperaturas y presiones lo bastante altas para obtener fluidos supercríticos. En la Universidad de Maine, el ingeniero químico Erdogan Kiran inventó una cámara de acero dentro de la cual pueden conseguirse presiones de hasta mil atmósferas, así como temperaturas lo bastante altas como para producir fluidos supercríticos. Incluso se puede observar cómo se disuelven sustancias en los fluidos supercríticos, a través de ventanas de un centímetro y medio de espesor, de una sustancia sintética pétrea y transparente.

Como ocurre con los fluidos ordinarios, algunos fluidos supercríticos disuelven ciertas sustancias con más facilidad que otros. Por consiguiente pueden emplearse para extraer algunas partes de una mezcla compleja y dejar el resto. Sin embargo, si el fluido supercrítico es demasiado caliente, puede dañar las moléculas de la sustancia que disuelve e incluso las de la que desecha.

El agua supercrítica es sin duda alguna demasiado caliente para confiar en que extraiga sustancias sin perjudicarlas, especialmente sustancias que sean «orgánicas» y que tengan moléculas grandes y bastante inestables. En este caso, ¿por qué no usar dióxido de carbono supercrítico, que es mucho menos caliente y requiere presiones más bajas para su formación?

En Alemania, el dióxido de carbono supercrítico ha sido utilizado para extraer cafeína de los granos de café. Se da el caso de que el dióxido de carbono supercrítico sólo extrae la cafeína y deja intacto todo lo demás.

Los disolventes líquidos ordinarios tienden a extraer otros ingredientes junto con la cafeína. Peor aún: a veces permanecen restos de disolventes ordinarios que a la larga pueden resultar peligrosos, pero cuando se retira el dióxido de carbono supercrítico (con su carga de cafeína), no queda nada de él. Después de todo, cuando se afloja la presión cualquier resto de fluido supercrítico se convierte en gas y se desvanece. El café descafeinado, hecho de esta manera, debería tener el mismo sabor que el original.

Se espera que algunos fluidos supercríticos se utilicen para realizar otras extracciones con eficacia y sin peligro. Tal vez se pueda extraer el aceite de las papas fritas, dejando un producto bajo en calorías, sin estropear el sabor. O podrá eliminarse el olor de los aceites del pescado, dejando inalterable su poder nutritivo. Los fluidos supercríticos prometen también purificar los medicamentos y facilitar el estudio de los protones, los ácidos nucleicos y otras moléculas complejas.

UNA CUESTIÓN DE PRIORIDADES

Dos esperados adelantos llevan camino de chocar, y los científicos se enfrentan con un dilema de difícil solución y que puede poner en peligro miles de millones de dólares o retrasar durante decenios la investigación.

Primero, la superconductividad. En este campo se han realizado nuevos descubrimientos, apasionantes e inesperados.

Corrientes eléctricas que han podido circular sin pérdidas y sin desarrollar calor a temperaturas sumamente bajas de helio liquido, parece de pronto que son capaces de hacer lo mismo a las temperaturas considerablemente más altas del nitrógeno líquido, con lo que todo el proceso resulta más barato y práctico.

Segundo, el «supercolisionador». Se ha proyectado construir un nuevo y enorme acelerador de partículas, de treinta kilómetros de diámetro y casi cien de circunferencia a un costo de miles de millones de dólares. Los científicos confían que con él se podrán conocer nuevos hechos sobre los constituyentes fundamentales de la estructura de la materia y sobre el origen del universo.

Pero aquí reside la dificultad.

Para construir el nuevo acelerador de partículas hay que emplear una gran cantidad de electricidad con la que producir imanes sumamente potentes alrededor de los cien kilómetros de circunferencia del aparato. Estos imanes sirven para producir un campo electromagnético lo bastante poderoso para acelerar partículas hasta casi la velocidad de la luz, obligando a algunas a chocar con otras, de manera que se produzcan colisiones de enorme energía.

Para conseguir esto, los imanes tienen que ser enfriados a bajísimas temperaturas y convertidos en superconductores. De esta manera, sin pérdida de corriente ni desarrollo de calor, pueden producirse imanes mucho más poderosos de lo que sería posible con cualquier otro método. Esto significa que el nuevo supercolisionador debe emplear una gran cantidad de costoso helio líquido y mucha maquinaria cara para mantener el helio en forma líquida el mayor tiempo posible.

Algunos científicos han discutido la conveniencia de semejante ingenio, habida cuenta del elevado costo. Y no es que la maquinaria no pueda producir nuevos e importantes conocimientos imposibles de obtener de otra manera, sino que consumiría mucho dinero que puede dedicarse a la ciencia. Si el supercolisionador se lleva miles de millones de dólares, quedaría poco dinero disponible para otros tipos de investigación.

En suma, la pérdida de nuevos conocimientos en otros campos puede ser mayor que los beneficios conseguidos en física subatómica. Esto es difícil de valorar porque no sabemos lo que se ganaría en nuevos conocimientos, en un caso, y lo que se perdería en otro.

No obstante, los nuevos progresos en superconductividad ofrecen un poderoso argumento a los que se oponen a la construcción del nuevo y costoso supercolisionador. Sugieren que los físicos esperen, porque pronto será posible emplear nuevos materiales que permitirán aprovechar la superconductividad a temperaturas del nitrógeno líquido. El nitrógeno líquido es mucho más barato que el helio líquido y mucho más fácil de mantener en este estado. De esta manera, el costo de la nueva máquina se reduciría de un 10 a un 15 por ciento.

En realidad incluso sería posible conseguir en no demasiado tiempo algunos materiales superconductores a temperaturas todavía más altas y construir imanes mucho más potentes que los que ahora podemos esperar. Unos imanes más potentes crearán campos más intensos que curvarán más el curso de las veloces partículas subatómicas. En vez de curvarlas sólo ligeramente, de manera que tengan que recorrer un círculo de treinta kilómetros de diámetro en un trayecto de cien kilómetros, podrían ser curvadas en un círculo de menos de tres kilómetros de diámetro, con un curso de sólo nueve kilómetros.

En este caso, el terreno requerido por la máquina quedaría reducido a sólo el uno por ciento del área que ahora es necesaria, y los materiales requeridos se reducirían de manera parecida. Se necesitaría menos dinero para la instalación y podrían ahorrarse varios miles de millones de dólares, para ser destinados a otros campos de investigación sin mengua de la física subatómica.

Esto suena bien, pero hay físicos subatómicos que se oponen a ello. Hasta ahora los nuevos materiales superconductores sólo se han producido como muestras de laboratorio.

¿Cuánto tiempo pasará antes de que puedan producirse en la cantidad y con las propiedades necesarias para la fabricación de imanes superconductores suficientemente potentes? Pueden surgir toda clase de dificultades y de problemas de ingeniería que habrá que resolver. Incluso podría tardarse años en solucionar los pequeños problemas que aparecen inesperadamente.

En otras palabras, los físicos tendrían que esperar diez o quince años para conseguir los nuevos materiales, y entonces las circunstancias políticas o económicas podrían hacer inalcanzables los miles de millones de dólares necesarios para la construcción del supercolisionador. Los físicos dudan en correr semejante riesgo. Tienen el dinero y son reacios a soltarlo.

Entonces, ¿esperar o no esperar? Ésta es la cuestión.

DE PRONTO EL TALIO JUEGA UN PAPEL IMPORTANTE

Algunos elementos químicos como el oro y el oxígeno tienen nombres conocidos por todo el mundo; no ocurre lo mismo con otros, como el neodimio y el lutecio. Pero de vez en cuando, de pronto pasa a ser noticia algún elemento que sólo era conocido por los químicos. Tal ha sido el caso del elemento químico talio.

El talio fue descubierto en 1861 por el físico británico William Crookes. Este estaba estudiando las longitudes de onda de luz proyectada por minerales calentados cuando observó una bella raya verde a una longitud de onda no registrada para ningún elemento conocido hasta entonces. Siguió la pista y aisló un elemento a la sazón desconocido y al que puso el nombre de «talio», de la palabra griega *tallos,* que significa «rama verde», en honor a la raya verde que le había puesto sobre la pista.

Pero no pareció que pudiese sacarse mucho partido del talio. Se parece bastante al plomo en sus propiedades. Es un poco más denso que éste y funde a una temperatura ligeramente más baja. Y es venenoso. De hecho, el talio se empleó ante todo (en 1920, casi sesenta años después de ser descubierto) como matarratas.

Pero ahora existe la cuestión de la superconductividad.

Algunas sustancias pierden toda resistencia eléctrica a temperaturas muy bajas, y esta propiedad puede ser de crucial importancia en varias ramas de la ciencia y de la tecnología. Se habla por ejemplo de superconductividad en relación con trenes de suspensión magnética, con rompedores de átomos más potentes, con ordenadores más pequeños y más rápidos, y con la fusión nuclear controlada.

Pero hasta 1986 no se conocía ninguna sustancia que fuese superconductora a temperaturas superiores a los 23 grados sobre el cero absoluto. Realmente esto es mucho frío, considerando que la temperatura corriente en una habitación es de unos 300 grados sobre el cero absoluto, y que la más cruda temperatura antártica es de 200 grados sobre el cero absoluto.

Pero hasta entonces sólo se habían probado metales para este fin. En 1986, dos científicos de Zurich, K. A. Mueller y T G. Bednorz, ensayaron con ciertas sustancias cerámicas y encontraron superconductividad a temperaturas de 36 grados sobre el cero absoluto, lo cual les valió el Premio Nóbel en 1987.

La cerámica que estudiaron Mueller y Bednorz se basaba en el óxido de cobre. Parece que la superconductividad depende de que los electrones pasen a lo largo de capas conectadas de átomos de cobre y de oxígeno. Sin embargo, para obtener grados altos de temperatura, tienen que estar presentes otros tipos de átomos. Estos tienen que ser de elementos tales como el bario, el itrio y el lantano. En particular, parece que tienen que estar presentes átomos de un grupo de elementos llamados «tierras raras».

No se podía estar seguro de cómo funcionaría ninguna de estas mezclas cerámicas. Los químicos mezclaron diferentes óxidos (incluido el crucial óxido de cobre) en diferentes proporciones, y los cocieron a diferentes temperaturas durante tiempos diferentes, para ver qué ocurría. Era una química de «libro de cocina», y las mezclas no eran de fiar. Una mezcla particular podía ser superconductora a temperaturas bastante

altas, una vez, y fallar lamentablemente en la hornada siguiente. Todo dependía de cómo fundían las partículas de cerámica con el calor.

Las temperaturas más altas que permitían la superconductividad seguían siendo de menos de 100 grados sobre el cero absoluto. (Se recibían informes ocasionales sobre temperaturas más altas, pero por lo visto estaban equivocados.) Desde luego, incluso una temperatura próxima a los 100 grados sobre el cero absoluto es sumamente elevada en comparación con las alcanzadas pocos años antes, pero todavía es menor que la que reina en la Antártida. Los científicos quieren superconductividad a temperaturas todavía más altas.

Entonces se le ocurrió a Alan Herman, un químico americano, probar los átomos de talio en vez de las tierras raras. Los átomos de talio tienen aproximadamente el mismo tamaño que los de aquéllas, y ocupan los mismos lugares en la estructura molecular.

En mayo de 1987 se descubrió que una cerámica sin tierras raras era superconductora a una temperatura de 80 grados sobre el cero absoluto.

La fórmula original requería óxidos de cobre, bario y talio, pero a primeros de 1988 Herman añadió un poco de calcio a la mezcla y obtuvo una temperatura superconductora de 105 grados sobre el cero absoluto. La mezcla conteniendo talio fue la primera que superó la marca de los 100 grados; nada que no contuviese talio lo había conseguido. Pareció que dependía en gran manera del número de capas de átomos de cobre-oxígeno que hubiese entre las capas de talio del contorno. La primera cerámica de talio había tenido una sola capa de átomos de cobre-oxígeno entre las de talio; la ulterior, con la más alta temperatura superconductora, tenía dos.

Evidentemente, era importante probar una cerámica con tres capas de cobre-oxígeno entre los contornos de talio, y al hacerlo se consiguió una temperatura superconductora de nada menos que 125 grados sobre el cero absoluto. No se sabe con certeza cuántas capas más pueden añadirse, y hay razones teóricas para suponer que la temperatura no puede aumentar indefinidamente. Sin embargo, si pueden embutirse diez capas de cobre-oxígeno junto con el talio y otros elementos, podrían alcanzarse temperaturas superconductoras tan altas como la de 200 grados sobre el cero absoluto. De esta manera se habría roto la barrera de la temperatura antártica.

De todos modos, el talio sigue siendo muy venenoso y tal vez demasiado peligroso para el empleo industrial. No obstante, aunque tal vez los científicos tengan que buscar otra sustancia para el mismo objetivo, el talio habrá jugado su papel en el avance de nuestra capacidad tecnológica.

LA RUPTURA DEL ENLACE

Si clavamos una aguja en un globo, ¿cuánto tarda el globo en reventar? No mucho, pero el tiempo se puede medir gracias a la fotografía a alta velocidad. A fin de cuentas, la goma tarda algún tiempo en abrirse bajo la presión, pero supongamos que cogemos una molécula de sólo seis mil millonésimas de centímetro y que hacemos con ella algo equivalente a clavarle una aguja. ¿Cuánto tiempo tardará la molécula en hacerse pedazos? Mucho menos de lo que tarda un globo en reventar. Y ahora han sido capaces los científicos de medir este tiempo.

Una molécula se compone de un grupo de átomos. Los átomos se mantienen pegados unos a otros gracias a que los diminutos electrones de sus regiones exteriores se juntan cuando se acercan lo suficiente. Esto produce una situación estable que tiende a conservarse. Pero para conservarla, los átomos deben continuar estando muy próximos. El resultado de ello es lo que llamamos «enlace químico».

Dos átomos que forman un enlace químico no permanecen quietos. A cualquier temperatura por encima del cero absoluto, tienden a moverse al azar. No pueden moverse libremente cuando están sujetos por un enlace químico, pero podríamos decir que no paran de intentarlo. Dos átomos sujetos por un enlace químico pueden apartarse el uno del otro, pero el enlace los atrae y junta de nuevo. Y esto se repite una y otra vez. Como resultado de ello, vibran en su sitio. Son como jugadores de béisbol que parten de la primera base y siempre tienen que volver atrás por un lanzamiento del pitcher vigilante.

El enlace actúa como un pequeño muelle. Cuanto más se alejan los átomos entre sí, más firmemente actúa para juntarlos de nuevo. Sin embargo, si por alguna razón se separan los átomos más allá de la distancia crítica, el enlace se estira, como haría un muelle, y se rompe. La molécula se deshace y los átomos quedan en libertad.

Al elevarse la temperatura, los átomos tienden a separarse demasiado y no pueden ser retenidos por el enlace químico. Si la temperatura sube lo suficiente, es seguro que las moléculas se romperán. También tienden a romperse si se añade energía en otras formas. La cuestión es cuánto tardan en romperse si se añade la energía suficiente.

Un grupo de químicos del Instituto de Tecnología de California, dirigidos por Ahmed Zewail, respondieron a aquella pregunta por primera vez en 1987. Trabajaron con monocianuro de yodo, una molécula compuesta de tres átomos —yodo, carbono y nitrógeno— sujetos de lado. Si se añade la suficiente energía, el yodo se separa, dejando unidos sólo el carbono y el nitrógeno (un «grupo cianuro»).

El truco está en aportar la energía en un tiempo sumamente breve, sólo el suficiente para dañar el enlace, pero no más.

Después de esto, ¿cuánto tarda el átomo de yodo en separarse del grupo cianuro?

Los químicos añadieron energía por medio de una brevísima pulsación de luz. Ésta arranca un electrón del enlace que sujeta el átomo de yodo al grupo cianuro, debilitándolo (como debilita una aguja la goma del globo) de manera que el átomo de yodo se libera (como el globo al reventar). La pulsación de luz es ciertamente muy breve: 60.000 millonésimas de millonésima de segundo. Golpea y desaparece, y los químicos pueden esperar entonces a que se rompa el enlace dañado.

Pero ¿cómo pueden saber cuándo se rompe el enlace?

Ocurre que el grupo cianuro aislado absorbe luz de un tipo particular y después desprende luz de otro tipo. Este proceso recibe el nombre de «fluorescencia» y puede ser fácilmente detectado. El monocianuro de yodo intacto no tiene fluorescencia, de modo que la aparición de ésta significa que el enlace se ha roto y se ha formado el grupo cianuro.

Por consiguiente, es necesario que el investigador dispare un breve pulso de luz láser contra el monocianuro de yodo e inmediatamente después un segundo pulso para ver si puede detectarse la fluorescencia. Entonces se repite el procedimiento, con el segundo pulso disparado a intervalos siempre más breves después del primero. El segundo pulso llega por fin tan poco después del primero que no hay fluorescencia; no ha habido tiempo de que se rompiese el enlace.

De esta manera descubrieron los investigadores que el tiempo que necesita el enlace para romperse, después de haber sido dañado, era de 205.000 millonésimas de millonésima de segundo. Para que se rompiese el enlace, el átomo de yodo tenía que alejarse 300 millonésimas de centímetro del grupo cianuro. Desde luego resulta difícil imaginar el brevísimo tiempo que tarda un enlace químico en romperse.

La luz se desplaza a una velocidad de aproximadamente 300.000 kilómetros por segundo, la mayor velocidad permitida en nuestro universo. Esta velocidad es tal que un

rayo de luz puede dar la vuelta a la Tierra en una séptima parte de segundo o viajar de la Tierra a la Luna en un segundo y cuarto, o de la Tierra al lejano Sol en ocho minutos.

Entonces, ¿qué distancia recorrerá la luz en 205.000 millonésimas de millonésima de segundo? La respuesta es 0,006 cm.

Dicho en otras palabras, el ultrarrápido rayo de luz láser pulsada golpea la molécula y sólo puede partirse 0,006 cm. antes de que se rompa el enlace.

UN SUEÑO HECHO REALIDAD

En 1865, un químico resolvió un problema en un sueño, y un siglo y cuarto más tarde los científicos han examinado al fin la materia de la manera más directa posible y, quién iba a decirlo, la solución del sueño resulta acertada.

La cosa ocurrió de la siguiente manera. A principios de la década de 1860, los químicos estaban estudiando el modo en que se combinaban los átomos para formar moléculas. El sistema que empleaban explicaba las propiedades de las moléculas en términos de sus conexiones atómicas. Unas pocas y sencillas reglas sobre la manera en que se encajaban las diversas clases de átomos produjeron modelos que parecían de juguete y ponían en claro una enorme cantidad de observaciones químicas.

Al frente de esta investigación se hallaba un químico alemán llamado Friedrich A. Kekulé, que se había atascado en un importante problema que los modelos de juguete parecían incapaces de resolver.

Se trabajaba con un compuesto llamado benceno. Kekulé sabia que cada molécula de benceno estaba compuesta de seis átomos de carbono y seis de hidrógeno, pero parecía que no había manera de ajustarlos adecuadamente. Se juntaran como se juntasen, el resultado hubiera debido ser una molécula muy activa, que combinase fácilmente con otros átomos y moléculas. Pero por desgracia el benceno no se comportaba así en la vida real. Era un compuesto muy estable que sólo se combina muy difícilmente con otros átomos y moléculas.

Mientras existiese esta discrepancia, todo el sistema resultaba sospechoso, y a los químicos no les entusiasmaba tener que buscar una nueva clase de modelo.

Kekulé pasó años trabajando sobre este problema. Disponía los átomos de carbono y de hidrógeno de todas las maneras concebibles, pero no podía encontrar un modelo satisfactorio. La solución llegó de una manera inesperada. Había tomado un tranvía tirado por caballos, que le llevaba lentamente por las calles de Gante, Bélgica, hacia la Universidad donde estaba enseñando en aquella época. Estaba cansado y, desde luego, pensaba en el problema del benceno, que era su mayor preocupación.

Se quedó dormido, pero incluso mientras dormía siguió pensando en el problema. Soñó en cadenas de átomos de carbono, retorciéndose a un lado y otro mientras se unían a átomos de hidrógeno. Y en este sueño, una cadena de átomos se curvó de pronto, de manera que un extremo se enganchó con el otro y formó un pequeño hexágono de átomos de carbono, girando sin parar.

Se despertó sobresaltado y se dio cuenta de que había dado con la solución. Todo el mundo daba por seguro que seis átomos de carbono formarían una línea recta con átomos de hidrógeno sujetos aquí y allá. Pero ¿y si los seis átomos de carbono formasen un anillo?

De nuevo en su laboratorio, consideró una molécula de benceno consistente en un anillo de seis átomos de carbono, con un átomo de hidrógeno sujeto a cada uno de aquellos.

Semejante disposición era de gran simetría y debería conferir una estabilidad considerable a la molécula. Consideró las maneras en que otros átomos podían adherirse

a tal anillo y vio que la predicción coincidía exactamente con la manera en que se comporta la molécula en la realidad. Por ejemplo, había precisamente tres maneras en que dos átomos de cloro podían sustituir a dos átomos de hidrógeno, tanto en el modelo como en la realidad.

A partir de entonces ha sido aceptado el anillo de seis átomos de carbono.

Desde luego, el anillo por sí solo no explicaba del todo la estabilidad; pero a principios del siglo XX se descubrió que los átomos se componen de pequeños núcleos rodeados de ligeros electrones. Son los electrones los que actúan recíprocamente entre sí para formar enlaces entre los átomos. En 1939, Linus Pauling descubrió que en el caso de moléculas como las del benceno, la interacción de los electrones produce una situación muy estable.

Pero aunque todas las propiedades químicas del benceno descubiertas desde los tiempos de Kekulé apoyaban la hipótesis de que cada molécula de benceno era un anillo de átomos de carbono en forma de un pequeño hexágono, las pruebas eran indirectas.

Por último, en 1981 fue inventado en IBM un aparato llamado microscopio de efecto túnel, consistente en una aguja sumamente fina de tungsteno que emite electrones en el vacío.

Estos electrones rebotan en la superficie del material. A base de la reflexión de estos electrones, un ordenador puede calcular el aspecto de la superficie reflectante. La superficie se ve con tanto detalle que incluso pueden distinguirse los propios átomos.

Sería interesante hacer rebotar electrones sobre una superficie de benceno sólido, pero se necesitaba algo que condujese electricidad, y el benceno no tiene esta propiedad. Además las moléculas de benceno se mueven tanto de un lado a otro, incluso en forma sólida, que la imagen era demasiado borrosa para poder mostrar gran cosa.

El benceno se combinó con monóxido de carbono, para mantenerlo estable, y el conjunto se hizo rebotar sobre metal de rodio, que es conductor de la electricidad. Y por fin se obtuvieron imágenes en 1988. Mostraron anillos de carbono en forma de hexágonos. Los científicos pudieron ver al fin el sueño de Kekulé. Era correcto.

ENVEJECIMIENTO

A veces el lenguaje científico no concuerda con el lenguaje humano. Si uno tropieza con la expresión «radical libre», es probable que se imagine que se trata de algún extremista que no está en la cárcel. Sin embargo, en química tiene un significado muy diferente.

En terminología química, una molécula está compuesta por más de un átomo. Cada átomo de una molécula está sujeto a otros átomos por un par de electrones. Así, un átomo de carbono puede estar sujeto a cuatro átomos diferentes de hidrógeno por cuatro pares diferentes de electrones. En ciertas circunstancias, un átomo de hidrógeno puede desprenderse, llevándose consigo su electrón. Lo que queda de la molécula original es un átomo de carbono con sólo tres átomos de hidrógeno. Donde debería estar el cuarto átomo de hidrógeno, no hay más que un electrón no sujeto a nada.

El fragmento molecular que contiene este único electrón es un «radical». Este electrón solo es muy activo y tiende a atacar con fuerza a otras moléculas para agarrar un átomo con el que constituir de nuevo una pareja de electrones. Esto ocurre tan rápidamente que un radical, incluso formal, no dura mucho y puede atrapar el átomo que se desprendió, antes de que pueda acabar de marcharse. Pero si un radical puede durar lo suficiente para rondar un poco de un lado a otro y atrapar un átomo de alguna otra molécula, se dice que es, durante su breve existencia, un «radical libre».

Pueden formarse radicales libres dentro de células vivas.

La radiación energética, como los rayos cósmicos, los rayos X o los ultravioletas del Sol puede producirlos. También pueden hacerlo ciertas sustancias químicas. Estos radicales libres pueden durar lo suficiente para dañar moléculas vecinas. Cuando las moléculas dañadas resultan ser proteínas, enzimas o, peor aún, las moléculas del ácido desoxirribonucleico (ADN) que forman los genes, la célula padece. Algunas porciones de la maquinaria celular pueden tener un mal fin.

El cuerpo tiene maneras de prevenir o corregir el daño causado por los radicales libres. Sustancias tales como la vitamina C y la vitamina E pueden desprender fácilmente electrones y, al hacerlo así, satisfacer el apetito de los radicales libres e impedir que causen perjuicio a otras moléculas. El cuerpo también tiene mecanismos correctores que pueden reparar moléculas dañadas por los radicales libres.

Sin embargo, no todos los daños de los radicales libres se pueden evitar o reparar. Esto quiere decir que durante la vida producen y acumulan daños a las células. Con los años aumenta el número de células averiadas, y algunas partes necesarias de la maquinaria del cuerpo se hacen cada vez más defectuosas e ineficaces.

Algunos científicos creen que es este daño acumulado lo que causa la vejez y asegura que todos tengamos que morir al fin incluso sin padecer infecciones ni sufrir accidentes.

Si esto es así, podríamos vivir más tiempo si encontráramos algún medio más poderoso que los que tiene el propio cuerpo para prevenir los daños de los radicales libres. Por ejemplo, hay algunas plantas, como el arbusto creosota, que tienen una vida extraordinariamente larga. Este arbusto contiene una gran cantidad de ácido nordihidroguaiarético (NDGA). Este puede frenar los radicales libres suministrándoles un electrón, y tal vez lo hace con más eficacia que las vitaminas C y E.

Un bioquímico de la Universidad de Louisville, John P. Richie, Jr., ha probado recientemente esta posibilidad dando NDGA a mosquitos hembra. Estos mosquitos suelen vivir 29 días por término medio; pero con NDGA vivieron una media de 45 días, lo cual representa un 50 por ciento más de tiempo. Si produjese un efecto parecido en los seres humanos, podría aumentar nuestra esperanza de vida de 75 a 113 años.

No es probable que nadie trate de alimentar a seres humanos con NDGA, como experimento, pero la observación de Richie parece confirmar la teoría del envejecimiento por los radicales libres. Puede haber otras maneras menos engorrosas de evitar la formación de radicales libres o fomentar su eliminación, de manera que la vida humana pueda alargarse considerablemente.

Pero entonces se plantearía la cuestión de si querríamos hacerlo, aunque pudiésemos.

Una vida más larga de los seres humanos dispararía el ritmo de crecimiento de la población y haría necesario reducir el índice de natalidad aún más de lo que ahora parece aconsejable. Esto significaría que habría menos jóvenes. Los gobiernos, los negocios, toda la maquinaria que rige la sociedad sería conducida durante períodos cada vez más largos por personas cada vez más viejas, y los jóvenes cada vez tendrían que esperar más tiempo para tener oportunidad de ocupar su sitio.

¿Es importante esto?

Probablemente sí. No es sólo que los jóvenes son jóvenes; son nuevos. Cada joven representa una nueva combinación de genes que puede producir un cerebro capaz tal vez de abordar los problemas de una manera nueva y creadora. Una sociedad controlada por ancianos longevos, con una infusión cada vez más lenta de juventud y novedad, podría decaer y volverse estática. De hecho, es muy posible que la muerte del individuo sea necesaria para la salud de la especie. La ventaja de que ustedes y yo pudiésemos salir ganando si viviéramos más, podría suponer la decadencia general de la humanidad.

EL EVASIVO QUARK

Desde los tiempos de los antiguos griegos, los pensadores han intentado responder a esta pregunta: ¿Cuáles son los objetos básicos que constituyen el universo? Hoy en día los científicos todavía tratan de contestarla, pero la información última continúa eludiéndoles. Parece escabullirse.

Por ejemplo, el universo está hecho de cierto número de elementos, sustancias simples que no pueden hacerse más simples por los métodos químicos ordinarios. Los científicos han identificado más de un centenar de ellos. Cada elemento está constituido por átomos, objetos tan diminutos que se requieren unos cien millones de ellos alienados para abarcar un centímetro. Por consiguiente, podemos decir que el universo está hecho de más de cien tipos diferentes de átomos.

Pero ¿son realmente los átomos los que constituyen el universo, o están los propios átomos constituidos por objetos todavía más pequeños y más simples?

A principios del siglo XX, los científicos descubrieron que los átomos tienen una estructura. Las regiones exteriores del átomo contienen electrones, y en el mismo centro de aquél hay un núcleo atómico tan diminuto que se requieren unos cien mil de ellos alineados, para ir de un lado a otro de un solo átomo. Los electrones son todos iguales, con independencia de la clase de átomo donde se encuentren. Los núcleos atómicos son diferentes. Cada clase de átomo tiene su propia clase de núcleo.

Sin embargo, los núcleos atómicos están constituidos a su vez por dos clases de partículas: los protones y los neutrones, y todos los protones y los neutrones son iguales, con independencia del número atómico en el que se encuentren. A principios de los años treinta pareció realmente que toda la materia del universo, en toda su aparente infinita variedad, podía estar compuesta por tres tipos de partículas: electrones, protones y neutrones.

Pero la cosa aún se complicó más. En realidad hay tres variedades de electrones, cada una de ellas asociada a un tipo diferente de neutrino, y los seis tienen una imagen como reflejada en un espejo. Esto hace doce partículas de tipo electrón (llamadas leptones). Todas y cada una de ellas es una partícula fundamental que, por lo que sabemos, no puede ser descompuesta en algo más simple. Para los científicos, doce leptones no son demasiados para no poder con ellos.

El neutrón y el protón son diferentes. En primer lugar, los neutrones y los protones tienen una masa algo más de mil ochocientas veces mayor que los electrones, de manera que aproximadamente representan el 99,95 por ciento del universo. Entonces los científicos empezaron a identificar también otras muchas partículas, literalmente cientos de ellas, de mayor masa que los electrones.

Esto era ya demasiado y parecía complicar tanto el universo que los científicos se preguntaron una vez más si estas partículas estaban compuestas por otras aún más pequeñas y más simples.

En los años sesenta, los científicos dieron por sentado la existencia de nuevas partículas, que son como los ladrillos de las partículas masivas. Las llamaron «quarks». Los neutrones, los protones y otras partículas todavía más masivas están hechas, afirmaron, de tres quarks cada una. Las partículas más pesadas que los electrones pero más ligeras que los neutrones y los protones (llamadas mesones) están compuestas por dos quarks cada una.

Resulta que hay doce quarks diferentes, de la misma manera que hay doce leptones diferentes, y los quarks también parece que son partículas fundamentales. Ahora podemos decir que todo el universo, en su infinita variedad, está hecho de doce leptones diferentes y doce quarks diferentes, y que todas las partículas comúnmente encontradas en la naturaleza son leptones o quarks, o combinaciones de quarks (más ciertas

partículas llamadas «bosones», que permiten que otras partículas interactúen entre si). Esto parece bastante sencillo, pero persiste un serio problema.

Los científicos pueden detectar muy fácilmente leptones libres y también pueden estudiarlos. Pero no pueden detectar quarks libres. El electrón tiene una carga eléctrica de una unidad; también la tiene el protón. Todas las cargas eléctricas son múltiplos de esta unidad. En cambio, los científicos han calculado que los quarks deben tener cargas eléctricas fraccionarias. ¿Podemos estar seguros de esto si nunca los hemos estudiado en estado libre?

En realidad ni siquiera podemos estar seguros de que existen y de que son algo más que conveniencias matemáticas.

Por ejemplo, sabemos que un dólar es el equivalente de diez piezas de diez centavos, pero esto no quiere decir que si rompemos un billete de un dólar encontremos diez monedas de metal en los trozos. Las monedas de diez centavos en un dólar son matemáticas.

Sería fácil identificar un quark libre por su carga eléctrica fraccionaria, que no existe en ninguna otra clase de partícula, pero estas cargas fraccionarias no se han encontrado nunca. Se informó de algunas de ellas a finales de los años setenta, pero cuando se repitieron los experimentos resultó que el informe estaba equivocado.

Deben existir quarks libres bajo condiciones muy extremas, por ejemplo en el centro de estrellas de neutrones o inmediatamente después del big bang. Pero ¿cómo pueden reproducir los científicos condiciones tan extremas en el laboratorio?

Nos queda una pequeña esperanza. Tal vez sea posible obligar a núcleos atómicos particularmente masivos a entrar en colisión sometidos a energías enormes, si construimos máquinas rompedoras de átomos suficientemente potentes.

Entonces los núcleos al romperse, podrían liberar, aunque brevemente, quarks individuales. Cuando esto ocurra, los científicos tal vez podrán observar estos evasivos componentes fundamentales del universo. Tal vez.

¿CUÁNTAS PARTÍCULAS?

¿Cuántas partículas diferentes constituyen el universo y todo lo que hay en él? ¿Cuántas están aún por descubrir? Los físicos se hallan a punto de obtener algunas respuestas a estas importantes preguntas.

Hay tres clases diferentes de partículas fundamentales (es decir, partículas que no pueden romperse en algo más simple).

Son los «leptones», los «quarks» y los «bosones».

El leptón más importante es el «electrón», que se encuentra en todas partes. Hay un electrón pesado llamado «muon»; aunque no existe en cantidades apreciables en la naturaleza, puede conseguirse en el laboratorio. Y hay un electrón todavía más pesado llamado «tauón». Cada una de estas partículas tiene un neutrino asociado, y los tres neutrinos son diferentes.

Esto hace seis leptones en conjunto.

Está también la «antimateria», que es como la materia ordinaria pero con características opuestas, tales como la carga eléctrica. La antimateria no existe en cantidades apreciables en el universo, pero puede conseguirse en el laboratorio. La antimateria está constituida por seis «antileptones» diferentes.

Esto hace doce leptones y antileptones.

Los quarks tienen también seis variedades. Los más importantes son los quarksup y los quarksdown, que son los más ligeros. Constituyen los protones y los neutrones que se encuentran en todas partes. Cuanto más pesada es una partícula, más difícil es de

formar. El quark más masivo, el quarktop, es 8.000 veces más masivo que el quark más ligero y todavía no ha sido formado, pero los científicos están seguros de que existe. Por cada quark hay un «antiquark», de modo que en conjunto hay doce quarks y antiquarks.

Los bosones son partículas que hacen posible que los leptones y los quarks interactúen entre sí. Hay cuatro clases de interacciones: la interacción gravitatoria, para lo cual hay un bosón; la interacción electromagnética, para la cual hay un bosón; la interacción débil, para la cual hay tres bosones, y la interacción fuerte, para la cual hay ocho bosones. Esto significa trece bosones en total.

Leptones, antileptones, quarks, antiquarks y bosones dan un total de treinta y siete partículas.

¿Sólo hay estas partículas? Bueno...

El más masivo de los bosones de interacción débil es el llamado partícula Z. Es dos veces más masivo que el quark de mayor masa, y hasta 1984 no fue formado ni observado. El descubridor fue el físico italiano Carlo Rubbia, que recibió por ello el Premio Nóbel.

Una partícula muy masiva se forma obligando a dos partículas ordinarias a colisionar con mucha fuerza. Las partículas chocan unas contra otras en una lluvia de otras partículas. La energía de la colisión puede ser convertida en masa. De manera que las partículas que se han formado pueden ser mucho más masivas que las que chocaron al principio.

Carlo Rubbia está trabajando ahora cerca de Ginebra, con el colisionador «Large Electron Positron», llamado generalmente LEP. Se lanza en él una corriente de electrones en círculos en una dirección, y una corriente de positrones (la antipartícula equivalente del electrón) en el mismo círculo pero en dirección contraria. Chocan los unos contra los otros, y de esta manera forman otras partículas. Si la energía de la colisión es la adecuada, forman partículas de campo Z.

La construcción del LEP empezó en 1981. Tenía que hacerse pasar los electrones y los positrones por un tubo circular de casi veintisiete kilómetros de circunferencia. El tubo tenía que contener un vacío, para evitar el choque con moléculas de aire. El LEP se puso en funcionamiento por fin en julio de 1989, y en cuatro semanas consiguió su primera partícula de campo Z.

El LEP no es el primer aparato para formar partículas de campo Z. En Estados Unidos se han empleado dos aparatos diferentes para formarlas. Sin embargo, el LEP tiene capacidad para regular exactamente la cantidad de energía que produce, de manera que sea la justa para la formación de la partícula Z. Esto significa que cuando funcione plenamente debería producirlas en cantidad. Se espera, por tanto, que a finales de 1989 el LEP haya formado unas cien mil partículas Z.

Con tantas partículas para trabajar con ellas, debería ser posible conocer la masa de cada una con mayor exactitud de lo que se ha podido hacer hasta ahora. Entonces también debería ser posible saber cuánto dura la partícula Z antes de romperse. Hasta ahora, sabemos que dura aproximadamente una mil millonésima de millonésima de segundo, pero los científicos necesitan tener una cifra más exacta.

Si las propiedades de la partícula de campo Z son conocidas con la adecuada exactitud, los científicos creen que serán capaces de saber cuántos leptones y quarks existen. Consideran que la respuesta será que sólo hay doce leptones y doce quarks posibles y que todos ellos, salvo el quarktop, ya han sido descubiertos.

Sin embargo, aunque fuese así, todavía existe la posibilidad de que pueda haber partículas que no sean leptones, ni quarks, ni bosones, sino que pertenezcan a categorías completamente distintas. Puede ser que el universo sea mucho más complicado de lo que creemos.

DOMANDO LA ANTIMATERIA

Puede que no haya nada tan emocionante en la ciencia como la capacidad de hacer ciertos cálculos teóricos y decidir que tienen que existir cosas que nadie ha observado nunca, y tener entonces a alguien que las observe. Fue lo que ocurrió a un físico llamado Paul Dirac.

En 1928 estaba calculando las propiedades de los electrones-mediante las ecuaciones de la mecánica cuántica recientemente formulada. Le pareció que las ecuaciones demostraban que tenía que haber dos clases de electrones, opuestas entre sí. Ordinariamente, los electrones tienen una carga eléctrica negativa, pero la otra clase (antielectrones) debería tener una carga eléctrica positiva, pero ser idéntica en todo lo demás.

Este electrón cargado positivamente nunca había sido observado, por lo que en aquel entonces fueron pocos los que tomaron en serio a Dirac. Pero en 1932, el físico Carl Anderson, que estaba estudiando los rayos cósmicos, detectó el rastro de una partícula que se creaba cuando los rayos cósmicos chocaban con los átomos de la atmósfera. La partícula dejaba un rastro exactamente igual al de un electrón, pero se curvaba en dirección contraria. Esto significaba que tenía una carga positiva, no negativa. Era un antielectrón o, como lo llamó más tarde Anderson por su carga, un «positrón».

Dirac recibió el Premio Nóbel en 1933, y Anderson en 1936.

Pero las ecuaciones de Dirac se aplicaban a varias partículas. Si el electrón tenía una partícula opuesta, también debían tenerla los protones, neutrones y otras partículas. Todas estas antipartículas debían ser capaces de juntarse para formar átomos de carácter opuesto al de los ordinarios. Estos átomos opuestos constituirían la «antimateria».

Los protones tienen aproximadamente una masa mil ochocientas veces mayor que los electrones, y por consiguiente se emplea mil ochocientas veces más energía para formar un antiprotón. Esperar un rayo cósmico lo bastante enérgico como para formar un antiprotón habría requerido mucho tiempo, pero los científicos no tuvieron que esperar. Estaban construyendo aceleradores de partículas más grandes y potentes, y en los años cincuenta consiguieron producir energías que podían formar antiprotones. Dos científicos, Emilio Segré y Owen Chamberlain realizaron la tarea en 1955 y recibieron el Premio Nóbel en 1959.

Al parecer hay muy poca antimateria natural en el universo, pero los científicos consiguieron crear alguna en el laboratorio. Pudieron hacerlo, sobre todo porque Dirac había indicado, por simple deducción matemática, que el trabajo era posible.

Sin embargo resultaba difícil estudiar semejante antimateria con detalle, porque cuando se formaban las antipartículas individuales eran sumamente energéticas y se movían a velocidades enormes. Peor aún, cada antipartícula tenía forzosamente que encontrarse con una partícula normal de su propia clase en una pequeña fracción de segundo, ya que todo lo que las rodeaba estaba hecho de billones de partículas normales.

Cuando esto ocurría, la antipartícula y la partícula se aniquilaban mutuamente, y ambas desaparecían y se convertían en energía. Esto recibe en nombre de «aniquilación mutua».

Así fue como surgió el problema de domar la antimateria, de frenar las antipartículas y mantenerlas lejos de los billones de partículas ordinarias, para impedir su destrucción instantánea. De esta manera los científicos podrían estudiarlas con detalle.

Parece que ahora lo están realizando los físicos europeos en Ginebra, que es donde se hallan los instrumentos más poderosos de Europa para estudiar las partículas. Los aceleradores de partículas han aumentado continuamente su potencia desde los años

cincuenta. El acelerador de Ginebra es uno de los más potentes que existen; puede formar antiprotones en grandes cantidades.

Estos antiprotones se hacen pasar a través de metal de berilio. Aproximadamente la mitad de ellos actúa con los protones del metal de forma recíproca y se pierde. El resto rebota en los electrones (con los que no hay acción reciproca) de los anillos exteriores de los átomos y emerge habiendo perdido la mayor parte de su energía.

Los antiprotones emergen en una trampa en la que se ha hecho el vacío, de manera que hay muy pocas partículas con las que pueden chocar y aniquilarse. La trampa se mantiene también a una temperatura cercana al cero absoluto, con lo que extrae más energía de los antiprotones. La trampa contiene un campo magnético que mantiene a los antiprotones saltando adelante y atrás, pero no permite que choquen contra las paredes, donde serían aniquilados. De esta manera se pueden conservar los antiprotones hasta diez minutos, y probablemente durante períodos mucho más largos.

Los científicos tienen ahora la oportunidad de medir exactamente la masa de un antiprotón. La teoría de Dirac predice que la masa del antiprotón debería ser exactamente igual a la del protón. Esto es lo que esperan descubrir los científicos. En caso afirmativo, la teoría de Dirac se verá más reforzada que nunca.

Sin embargo, el descubrimiento de cualquier pequeña desviación podría ser tan excitante como enigmático. Significaría que la teoría tendría que ser modificada y ampliada. Y esto podría abrir la puerta a nuevas y todavía más profundas visiones de la naturaleza del universo.

EL PERFECCIONAMIENTO DEL DIAMANTE

Los diamantes son la quintaesencia de las joyas: bellos, brillantes, escasos y caros. Pero parece que estamos a punto de obtener diamantes comunes, baratos... y muy útiles.

El diamante es carbono puro, y el carbono es una de las sustancias más baratas que existen. Por ejemplo, el carbón es carbono, y también lo es el grafito que se usa en los lápices.

Pero si tanto el carbón como el diamante son carbono, ¿qué es lo que los diferencia tanto?

Todo es cuestión de cómo están dispuestos los átomos de carbono. En todas las formas de carbono, salvo el diamante, los átomos están dispuestos de forma desordenada. En cambio en el diamante forman un conjunto muy compacto. En el diamante, cada átomo de carbono está estrechamente rodeado por otros cuatro átomos de carbono. Estos átomos son tan pequeños y se mantienen juntos con tal firmeza que el diamante es la sustancia más dura que se conoce.

La cuestión consiste desde luego en forzar los átomos de carbono para que adopten aquella disposición tan apretada y compacta. En primer lugar hay que calentar carbón ordinario a altísimas temperaturas para permitir que los átomos de carbono se muevan más o menos libremente. Entonces se somete el carbono a altas presiones para juntar los átomos con fuerza. Esta combinación de alta temperatura y alta presión es difícil de alcanzar, y hasta 1955 los científicos de General Electric no consiguieron convertir carbón ordinario en pequeños diamantes.

¿Hay alguna manera de producir diamantes a bajas temperaturas y presiones? Uno diría que no, pero los químicos soviéticos han estado experimentando durante años con una técnica nueva y muy ingeniosa.

El truco consiste en producir un gas que contenga átomos individuales de carbón y dejar que se posen sobre otra sustancia. Por ejemplo se puede empezar con el metano,

que es un gas muy común. Cada molécula de metano contiene un átomo de carbono sujeto a cuatro átomos de hidrógeno.

Si el metano se calienta lo suficiente, la molécula se rompe en una mezcla de átomos de carbono y de hidrógeno. Si se hace pasar entonces el vapor por encima, por ejemplo de una lámina de vidrio, los átomos sueltos de carbono (que tienen una fuerte tendencia a adherirse a otros átomos) se juntarán a los átomos de la superficie de vidrio. Se formará una capa invisible de carbono sobre el vidrio, que sólo tendrá el espesor de un átomo.

Sin embargo, si el vapor de metano calentado sigue bañando el vidrio, átomos adicionales de carbono se adherirán a los que ya están presentes para formar una capa de varios átomos de espesor. Después de años de experimentación, los químicos soviéticos tuvieron la satisfacción (y tal vez también la sorpresa) de ver que los átomos de carbono de las capas más gruesas adoptaban la disposición compacta del diamante.

En otras palabras, el vidrio no estaba simplemente revestido de carbono sino de una película de diamante. Y sólo se necesitaba una temperatura alta para obtener el vapor que contenía carbono. No hacía falta la alta presión.

Imaginemos unos lentes o una gafas de sol con una película de diamante. La película sería perfectamente transparente y no se advertiría, pero la superficie del cristal tendría las propiedades de la superficie del diamante. Nada podría rayarla salvo otro diamante.

Si el procedimiento se comprueba y generaliza, es perfectamente concebible imaginar que todos los cristales de alta calidad estarán revestidos de una película de diamante. Este cristal «diamanteado», casi tan barato como el ordinario, sería inmune a los roces y las rayaduras.

Más aún, podrían formarse películas de diamante sobre diferentes superficies del cristal. Las hojas de afeitar y los cuchillos diamantizados no se embotarían nunca por el uso corriente. Los cojinetes y las máquinas herramientas durarían casi eternamente. Y como el diamante es impermeable y virtualmente invulnerable a las sustancias químicas, los materiales diamantizados serían inmunes a la herrumbre y la corrosión. El diamante es también un aislante eléctrico y un excelente conductor del calor. Esto significa que los aparatos electrónicos pueden ser diamantizados con provechosos efectos. De esta manera, el equipo electrónico se vería menos afectado por campos eléctricos y no acumularía calor.

El diamante también puede aplicarse a semiconductores mediante la adecuada adición de pequeñísimas cantidades de boro o de fósforo. Tales semiconductores serían resistentes a la radiación y transparentes a la luz ultravioleta, y sus electrones se moverían mucho más deprisa que los de otros semiconductores. Es posible que mediante una adecuada diamantización se consiguiesen enormes adelantos en la tecnología del ordenador.

Más sorprendente aún es la noticia recibida de la Unión Soviética (que marcha en cabeza en esta técnica) de que nuevas maneras de hacer películas de diamante producen una especie de disposición deformada de los átomos de carbono, que hace la película aún más dura que el diamante ordinario. No están seguros de cuál es la deformación ni de por qué tendría que hacer más duro el diamante, pero si se confirman los informes iniciales, sólo podemos imaginar lo que podría conseguirse con una mayor diamantización.

FUSIÓN FRÍA

La energía obtenida mediante fusión nuclear podría ser una gran bendición para la humanidad. El combustible no es el moderadamente raro uranio o torio, como en la

fisión. Es el deuterio («hidrógeno pesado»), del que hay innumerables toneladas en el océano. La fisión puede durarnos 1.000 años, pero la fusión puede durarnos miles de millones.

Y lo que es más, la fusión produce muchas menos cenizas radiactivas y no requiere una gran «masa crítica» con la que trabajar, como la fisión. Con una gran masa crítica, podría producirse una fuga importante. En el caso de la fusión, se puede trabajar con fragmentos microscópicos de deuterio.

Aunque se escapase, sólo produciría una denotación relativamente pequeña.

La fusión es una fuente de energía más abundante y probablemente mucho más segura. Si podemos conseguir una energía de fusión controlada y práctica, nuestros problemas energéticos se habrán acabado... ¡para siempre!

Pero hay una pega. ¿Acaso no la hay siempre? Hemos tratado de conseguir esto durante muchos años, y no lo hemos logrado todavía. Lo malo es que para obtener la fusión nuclear tenemos que hacer chocar un núcleo atómico con otro. Pero todos los núcleos atómicos llevan cargas eléctricas positivas, y las cargas positivas se repelen.

Esto significa que si intentamos empujar núcleos atómicos para juntarlos, ellos se esfuerzan en repelerse. Para salirnos con la nuestra y que no se salgan ellos con la suya, hay que juntarlos de un fortísimo empujón. Para hacer esto hay que calentar el hidrógeno de manera que los núcleos se muevan tan rápidamente (cuanto más alta sea la temperatura, más rápido será el movimiento) que no tengan tiempo de esquivarse. Y para esto no se necesita un poco de temperatura. Se necesitan decenas de millones de grados.

La fusión tiene lugar en el centro del Sol, donde la temperatura es de 15 millones de grados C (27 millones de grados F).

El centro del Sol está bajo la presión del peso de sus capas exteriores, que fuerzan también los núcleos a juntarse. La combinación de temperatura y presión da este resultado.

En la Tierra no hay manera de producir la presión que existe en el centro del Sol, y para compensar aún tenemos que elevar más la temperatura. Tenemos que subir hasta cientos de millones de grados. Hemos estado más de treinta y cinco años tratando de alcanzar una temperatura lo bastante alta y hasta ahora no lo hemos conseguido.

Pero ¿hay alguna manera de conseguir la fusión a baja temperatura? ¿Hay alguna manera de que podamos tener una fusión fría? Existe una posibilidad.

A bajas temperaturas, el núcleo de cada átomo de hidrógeno tiene un electrón en el anillo exterior que sirve para resguardar el núcleo. Estando presentes los electrones, los núcleos ni siquiera pueden acercarse los unos a los otros, y muchos menos chocar entre sí.

Pero estamos hablando de electrones ordinarios. Hay otra partícula llamada «muon», que es como un electrón en todos los aspectos mensurables, salvo en uno: su masa es 207 veces mayor que la del electrón.

Los científicos no saben ni por qué existe ni por qué tiene que ser mucho más masivo que el electrón, cuando es exactamente igual en todo lo demás; pero la cosa es así.

Un electrón puede equilibrar un núcleo de hidrógeno, que siempre contiene un solo protón, para formar un átomo de hidrógeno ordinario. Entonces, un muon también puede hacerlo. ¿Por qué no? No es más que un electrón pesado. Y al hacerlo así, forma un átomo muónico.

Pero el muon, por ser 207 veces más pesado que el electrón, gira alrededor del núcleo 207 veces más cerca que el electrón. Un átomo muónico difícilmente puede ser más grande que el propio núcleo. De hecho, en ciertas condiciones un muon puede

rodear dos núcleos de hidrógeno y obligarlos a acercarse mucho, incluso a la temperatura ordinaria de una habitación.

Esto será particularmente útil si uno de los dos núcleos de hidrógeno es de deuterio y el otro de tritio (una forma todavía más pesada de hidrógeno). El deuterio y el tritio se fundirán mucho más fácilmente que dos deuterios, y si son mantenidos juntos por los muones no se necesitará una temperatura más alta que la ordinaria.

Más aún, después de realizada la fusión, el muon se va y gira alrededor de otros dos núcleos (de deuterio y de tritio).

Por término medio, un muon puede ocasionar la fusión de 150 pares de núcleos.

También hay las pegas acostumbradas, desde luego. El tritio es radiactivo y apenas se encuentra en la naturaleza.

Tendría que ser fabricado y esto no es trabajo fácil. Los muones plantean un problema todavía más espinoso. El tritio, una vez formado, tarda por término medio doce años en romperse. En cambio, los muones sólo durarán media millonésima de segundo. Tendrán que ser constantemente fabricados. Además, ni siquiera son suficientes cincuenta fusiones por cada muon. Habrá que encontrar la manera de producir más. Actualmente se está trabajando en esto en el Rutherford Laboratory de Oxford, Inglaterra.

Aunque consiguiésemos calentar las cosas lo bastante para la fusión ordinaria, valdría la pena encontrar un camino más fresco, si podemos. A la larga será mucho más fácil de manejar y más barato.

EL TRITIO: POR QUÉ ES CRUCIAL

En estos días hemos oído hablar mucho de algo llamado «tritio». Dicen que estamos en peligro de quedarnos sin él debido al cierre de las empresas que lo fabrican y que si se agotan no podremos hacer estallar nuestras bombas de hidrógeno en caso necesario. Emprenderemos un desarme nuclear unilateral e involuntario.

Pero ¿qué es el tritio y por qué es necesario? ¿No es el material que se emplea para la bomba de hidrógeno? ¿No la llaman por esa razón bomba de hidrógeno?

Sí, pero el tritio es una forma de hidrógeno. El hidrógeno tiene tres formas. Los átomos de hidrógeno ordinario consisten en un pequeño núcleo formado por un protón, con un electrón girando a su alrededor. Todos los átomos de hidrógeno tienen exactamente un protón en el núcleo, pero algunos poseen además uno o dos neutrones. El neutrón es tan pesado como el protón, pero no afecta a la naturaleza química del átomo.

Así, un átomo de hidrógeno ordinario con un solo protón en el núcleo es «hidrógeno 1». Un hidrógeno con dos partículas en su núcleo, un protón y un neutrón, es dos veces más pesado y es «hidrógeno 2». Un hidrógeno con un protón y dos neutrones en el núcleo es tres veces más pesado, y es «hidrógeno 3». Al hidrógeno 2 se le llama generalmente «deuterio», de una palabra griega que significa «segundo», porque es el segundo de los tres hidrógenos. De manera parecida, al hidrógeno 3 se le llama «tritio», de la palabra griega que significa «tercero».

El hidrógeno se puede someter a «fusión». Sus pequeños átomos pueden apiñarse sometidos a un calor y una presión enormes, para formar átomos más grandes, liberando muchísima energía en el proceso.

El hidrógeno 1 funde con gran dificultad. Lo hace en el Sol, pero aquí en la Tierra no podemos imitar las condiciones extremas del centro del Sol. El hidrógeno 2 funde con más facilidad, y el hidrógeno 3 más fácilmente que los otros dos.

Por consiguiente, si queremos fabricar una bomba de hidrógeno preferiremos el hidrógeno 2 al hidrógeno 1, y sobre todo el hidrógeno 3 (tritio). Pero hay un pega: de cada 100.000 átomos de hidrógeno existente en la Tierra, 99.985 son de hidrógeno 1, y 15 de hidrógeno 2. Hay tanto hidrógeno en los mares y es tan fácil de separar el hidrógeno 2 que si quisiéramos podríamos tenerlo a toneladas. Pero el hidrógeno 2 no funde tan fácilmente para nuestros fines. Necesitamos al menos algún hidrógeno 3, y sólo hay cantidades insignificantes de él en la naturaleza. Sencillamente, no se puede obtener en cantidades útiles.

¿A que se debe todo esto? El hidrógeno 1 y el hidrógeno 2 son estables. Conservarán su identidad durante períodos de tiempo inconmensurables. En cambio el hidrógeno 3 es radiactivo. Se desintegra en helio 3 (virtualmente inútil en reacciones de fusión) a tal velocidad que, en doce años y medio, se ha desintegrado la mitad de la cantidad que sea. Por consiguiente, hace tiempo que desapareció todo el tritio que existió en la Tierra. La única razón de que existan todavía restos de él es que los rayos cósmicos forman constantemente algunos átomos de tritio en la atmósfera.

Sin embargo, los científicos aprendieron a obtener tritio por medio de ciertas reacciones nucleares, y se construyeron enormes fábricas en las que podían realizarse aquellas reacciones. No se forma tritio suficiente para hacer bombas de hidrógeno sólo con él, pero sí lo bastante para que, añadiéndole deuterio que actúa como fulminante, pueda empezar la fusión. El calor de la fusión inicial mantendrá en marcha las cosas mientras quede algún deuterio.

Pero las fábricas de tritio deben mantenerse en funcionamiento mientras queramos tener bombas de hidrógeno, pues el tritio que fabrican se descompone continuamente, y nada podemos hacer por remediarlo. Debemos fabricar tritio a la misma velocidad con que se descompone, para poder disponer siempre del necesario para nuestro arsenal de bombas de hidrógeno.

Lo malo es que las fábricas de tritio son viejas, anticuadas y poco seguras; hay fugas radiactivas que contaminan el medio ambiente, y dan lugar a residuos radiactivos de los que se ha dispuesto de manera descuidada. Durante años esto se ha mantenido en secreto y no se ha hecho nada importante para remediarlo, por razones de «seguridad nacional».

El secreto se ha filtrado ahora, y naturalmente la gente no quiere estar expuesta a envenenamiento por la radiación, al cáncer, a defectos de nacimiento y a la muerte, ni siquiera por razones de seguridad nacional. Por consiguiente se han cerrado las fábricas de tritio. Repararlas y darles un mínimo de seguridad costaría muchos miles de millones de dólares y muchos años de trabajo. Construir fábricas nuevas y mejores costaría todavía más dinero y más años. Mientras tanto el tritio que tenemos se está descomponiendo lentamente, y ésta es la situación.

¿Por qué no se repararon las fábricas y se modernizaron, poco a poco, en el curso de los años? Presumo que porque el Gobierno prefería gastar el dinero en otras cosas y siempre podía ocultar los fallos y el peligro detrás de la cortina de humo de la seguridad nacional.

Es deprimente. ¿Cuántos otros fallos, cuántas otras causas de ruina oculta nuestro Gobierno bajo la bandera de la seguridad nacional?

DESAPARECIDO PARA SIEMPRE

En 1960 escribí un ensayo advirtiendo que se estaba derrochando el insustituible helio y que cuando se hubiese gastado, cuando hubiera desaparecido para siempre, entonces lo lamentaríamos. Y ahora, muchos años más tarde, todavía estamos

consumiendo helio en enormes cantidades. Dejamos que la mayor parte del helio que producimos pase simplemente a la atmósfera. Y una vez allí, no se puede recuperar.

¿Por qué no? Después de todo, ¿no son inmortales los diversos elementos (entre ellos el helio), salvo unos pocos que son radiactivos? Podemos usar aluminio y otros metales, pero nunca se gastan realmente, pues siempre podemos reciclarlos y recuperarlos, aunque a costa del consumo de energía.

Esto podría ser también verdad con respecto al helio. Cada millón de kilos de atmósfera contiene aproximadamente tres cuartos de kilo de helio. Si quisiéramos gastar la energía, podríamos extraer helio del aire que nos rodea. Desde luego, el helio obtenido de esta manera sería muy caro.

Pero hay dos gases tan ligeros que la gravedad de la Tierra es insuficiente para retenerlos. El hidrógeno y el helio pasan lenta e inexorablemente de nuestra atmósfera al espacio y desaparecen. Como dos de cada tres átomos de nuestros vastos mares son de hidrógeno, y aquella pérdida es tan lenta, lo conservaremos en grandes cantidades mientras siga la Tierra en su actual estado. En cambio, el helio es una sustancia muy rara, y su pérdida en la atmósfera es muy grave.

¿Por qué aún existe el helio? ¿Por qué no ha desaparecido hace ya tiempo? Sus orígenes contribuyen a explicar la razón de que todavía esté aquí. El helio se forma muy lentamente por la desintegración de átomos de uranio y torio radiactivos.

En los miles de millones de años de existencia de la Tierra se ha acumulado en las rocas, y se ha mezclado sobre todo con bolsas de gas natural. Nosotros utilizamos este helio acumulado miles de millones de veces más deprisa de lo que puede ser sustituido por la desintegración del uranio y del torio.

En Texas y Wyoming hay unos cuantos pozos de gas natural particularmente ricos en helio; en realidad les corresponde más del 90 por ciento de la producción mundial. Sin embargo estos pozos se explotan principalmente por el gas natural, y el gas natural es requerido en tales cantidades que se produce más helio del que se puede utilizar. Lo más sensato sería separar el helio del gas natural y almacenarlo para su uso futuro, pero esto costaría dinero. Por esta razón, unas tres cuartas partes del helio obtenido de aquellos pozos se deja que se pierda en el aire y... ¡adiós muy buenas!

¿Por qué necesitamos helio? En primer lugar porque es el gas más ligero después del hidrógeno. El helio se emplea para los globos. El hidrógeno aún es mejor, pero el hidrógeno es muy propenso a inflamarse (¿se acuerdan del *Hindenburg*?). El helio no es inflamable y puede emplearse con toda seguridad.

Además el helio es el gas menos soluble en el agua. Se emplea para sustituir el nitrógeno cuando hay que respirar aire a alta presión; reduce el peligro de la «enfermedad de los buzos», dolorosa y amenazadora para la vida.

El helio no reacciona químicamente con ningún otro elemento. Por consiguiente se emplea en la soldadura, como gas que rodea la llama caliente. El material soldado no reacciona con el helio, como reaccionaría con el aire, y así es más probable que la soldadura sea perfecta.

Pero consideremos esto: a 14 grados sobre el cero absoluto, todo, salvo una excepción, se halla en estado sólido. El oxígeno, el nitrógeno y el hidrógeno son sólidos. Sólo el helio sigue siendo un gas.

El helio no se convierte en líquido hasta los cuatro grados sobre el cero absoluto, y sigue siéndolo hasta el cero absoluto.

Emplear helio líquido es actualmente la mejor manera de mantener las bajas temperaturas necesarias para la superconductividad. Cierto que ahora hemos descubierto materiales que son superconductores a temperaturas mucho más altas, pero no sabemos cuándo podremos utilizarlos en la práctica.

De momento seguimos dependiendo del helio líquido. Y el supercolisionador superconductor que se está proyectando necesitará millones de metros cúbicos de helio cada año para seguir funcionando.

Además, aunque pudiésemos valernos de una superconductividad a temperatura más alta, hay otros fenómenos que deben ser estudiados a las bajísimas temperaturas del helio liquido y no hay un sustituto concebible para ello. Nunca podremos comprender los comos y porqués del universo si de pronto nos encontramos en la imposibilidad de investigar a tan bajas temperaturas.

Pero ¿no hay ningún sitio más en el que se pueda obtener helio, si el que produce la Tierra está condenado a desaparecer? Tal vez podríamos encontrar en algún lugar del espacio.

La fuente más próxima y copiosa de helio (más del que podremos utilizar nunca) es el Sol; pero ¿cómo podríamos recoger helio del Sol? La siguiente fuente más próxima es el gigante Júpiter, al que podríamos acercarnos más, pero sólo en teoría. Puedo imaginarme unos recogedores automatizados pasando junto a Júpiter para coger helio de su atmósfera superior; pero es evidente que tardaremos mucho tiempo en poseer la tecnología necesaria para esto, si es que alguna vez llegamos a tenerla.

LA FORMA MÁS SIMPLE

Tres químicos, dos americanos (Donald J. Cram y Charles J. Pedersen) y un francés (Jean-Marie Lehn), compartieron el Premio Nóbel de 1987 por simplificar una forma.

Es la forma de una molécula enzimática. Toda célula viva tiene miles de enzimas diferentes, cada una de ellas capaz de producir alguna reacción química. Si faltara la enzima, la reacción química se produciría muy lentamente, o no se produciría en absoluto. Con la enzima presente, la célula es una colmena de rápidas y entrelazadas reacciones que, todas juntas, mantienen la química de la vida normal.

¿Cómo lo hacen las enzimas?

Las enzimas son moléculas proteicas. Cada molécula proteica está compuesta de una cadena de aminoácidos. Hay veinte clases de aminoácidos que pueden constituir una cadena proteica y que pueden juntarse en grandes cantidades y en cualquier disposición.

Cada aminoácido está compuesto por una cadena de tres átomos, uno de nitrógeno y dos de carbono (N-C-C). El carbono de en medio está sujeto a una cadena lateral, y la cadena lateral de cada clase de aminoácido es diferente. Algunas cadenas laterales son pequeñas, y otras grandes; algunas llevan una carga eléctrica y otras no; algunas cargas eléctricas son positivas, y otras negativas.

En cuanto se juntan los aminoácidos, se pliegan en un objeto tridimensional, y las cadenas laterales de los aminoácidos forman una superficie granulosa y desigual, con cargas eléctricas positivas y negativas distribuidas aquí y allá. Cada disposición de los aminoácidos produce una superficie con su forma característica, y el número de disposiciones posibles es incalculable.

Empezando con sólo un amino en cada uno de los veinte aminoácidos, se podrían obtener más de 2.400 millones de combinaciones, cada una de las cuales produciría una molécula de forma ligeramente diferente.

Pero las moléculas proteicas reales se componen de más de veinte aminoácidos. El número de cada tipo presente varía de unos pocos a docenas. El número de combinaciones posibles de los aminoácidos en una molécula de hemoglobina (que lleva el oxígeno de los pulmones a todas las células del cuerpo) es de 10 elevado a la 640ª potencia. Es decir, ¡un uno seguido de 640 ceros! Y sólo una de estas combinaciones funcionará perfectamente.

¿Cómo consigue el cuerpo esta disposición única de la hemoglobina? En cada célula hay cromosomas compuestos de moléculas de ácido desoxirribonucleico (ADN) de estructura muy compleja. Partes de estas moléculas de ADN son genes, que tienen la capacidad de producir copias exactas de ellos mismos cada vez que se divide la célula, y que contienen la información que guía la formación de proteínas compuestas de una disposición particular, y única, de los aminoácidos.

Se producen miles de enzimas, cada una de ellas en innumerables y muy parecidas variedades. Debido a que la naturaleza y el equilibrio de las enzimas son diferentes en las distintas formas de vida, de 10 a 20 millones de especies de criaturas vivas han evolucionado en la Tierra desde tiempo inmemorial; menos dos millones existen todavía hoy, y más millones evolucionarán en el futuro. Y precisamente por las pequeñas diferencias entre las enzimas, cada individuo de una especie es diferente, de manera que no hay dos seres humanos exactamente iguales (ni siquiera los gemelos).

Las enzimas actúan a través de la naturaleza de sus superficies. Una enzima particular puede tener una superficie sobre la que se adapte perfectamente cierta pequeña molécula. Esta pequeña molécula se combina con la enzima y es mantenida en su sitio pudiendo combinarse con otras moléculas y experimentar un cambio químico. Una vez producido este cambio químico, deja de adaptarse a la superficie y queda suelta.

Cada enzima tiene un centro activo, una porción de superficie hecha para ordenar las pequeñas moléculas cuya reacción química controla. El centro activo es el que realiza el trabajo, pero la enzima debe tener unas áreas adicionales muy complejas que aseguren que se adapta a todas las otras enzimas y trabaja en coordinación con todo el sistema.

Esta estructura compleja hace que las moléculas de las enzimas sean grandes e inseguras y se rompan con facilidad.

Esto no tiene importancia en la célula viva, porque las moléculas complejas de las enzimas se reconstruyen con la misma rapidez con que se rompen.

Pero supongamos que extraemos las enzimas de las células y tratamos de utilizarlas para producir ciertas reacciones químicas. El problema es que se romperán rápidamente y no tendremos manera de reconstruirlas con la necesaria rapidez.

Pero ¿y si fabricamos una pequeña molécula que tenga la forma del centro activo de una enzima? Tal vez no trabajaría tan bien y con tanta suavidad como una enzima, pero podría realizar satisfactoriamente su labor. Su estructura más simple facilitaría mucho a los químicos su reproducción. Y lo que es más, una molécula sintética, con la estructura conveniente en la forma más sencilla, sería mucho más estable que una enzima.

Son estas moléculas de forma más sencilla las que han estado fabricando los tres químicos. Esas enzimas simplificadas se emplean actualmente en diagnóstico médico. A este trabajo de los químicos se le ha reconocido el mérito de sentar los cimientos de un campo de investigación biomédica que se ha ido extendiendo rápidamente.

EL PELIGROSO MICROORGANISMO

Siempre se ha dado por sentado que el científico tiene derecho a experimentar como mejor le plazca. La búsqueda del conocimiento ha parecido un empeño tan notable, tan raro en principio y tan útil en sus consecuencias, que incluso las sociedades represivas dejan generalmente en paz al investigador. Sin embargo, puede haber peligro potencial en la experimentación y ésta ha sido regulada, y con razón, en ciertos aspectos.

Por ejemplo, sería una insensatez construir un laboratorio para el estudio de potentes explosivos en una zona urbana densamente poblada. Y si ciertos experimentos químicos

produjesen malos olores o gases venenosos, tendría que haber leyes que redujesen al mínimo la incomodidad y el peligro que aquellos pudiesen causar.

De la misma manera, el empleo de microorganismos genéticamente alterados (protozoos, bacterias, virus) es considerado con cierta inquietud incluso por los científicos.

Hoy en día es muy posible alterar el contenido genético de los microorganismos para darles aptitudes que no tienen en la naturaleza. Una bacteria podría recibir genes que le permitiesen producir insulina humana en cantidad, o cualquier otra proteína valiosa en medicina. Podrían inventarse otras bacterias que pudiesen vivir del petróleo derramado o digerir desperdicios de otra manera inconsumibles; estos nuevos microorganismos podrían contribuir muy bien a la limpieza y descontaminación del medio ambiente.

Estos posibles adelantos útiles no son más que un ejemplo de las numerosas aplicaciones atractivas del nuevo arte de la «ingeniería genética». Y sin embargo, una vez soltado el microorganismo alterado en el medio ambiente, puede muy bien extenderse y convertirse en algo permanente e imposible de erradicar. Y entonces, ¿qué podría ocurrir si llegáramos al convencimiento de que en conjunto el microorganismo alterado no es tan útil como pensábamos, o incluso que es perjudicial?

¡Demasiado tarde! No se puede volver a meter la tortilla en la cáscara del huevo.

Supongamos que al alterar un microorganismo hemos creado inadvertidamente una variedad capaz de producir una toxina sumamente peligrosa para el cuerpo humano. Supongamos también que se multiplica rápidamente y que se contagia de unas personas a otras al contaminar el aire o el agua.

Podríamos llegar a la increíble pesadilla de otra peste negra que matase a cientos de millones de personas en una súbita pandemia devastadora.

En realidad esto no es probable; pero supongamos que sólo se fabricase una bacteria que produjese ataques de diarrea o algo equivalente a la gripe intestinal. Podría no matar, pero las molestias serían grandes. La cólera de la gente contra los causantes sería extraordinaria.

Por consiguiente, es de interés público que la autoridad regule tales experimentos, insista en ciertas precauciones, haga que los posibles efectos de cualquier microorganismo alterado sean estudiados a fondo por expertos antes de correr el riesgo de contaminar el medio ambiente.

Pero tal regulación es difícil y hasta puede parecer irracional. ¿Y si la autoridad reguladora se toma un tiempo exorbitante o juega tanto sobre seguro que la ingeniería genética queda asfixiada?

Por ejemplo, un científico llamado Gary Strobel, de la Universidad de Montana, ha trabajado con una bacteria que produce un antibiótico que mata el hongo que ocasiona la enfermedad del olmo holandés, una enfermedad que está a punto de destruir estos bellos árboles en todo el mundo.

Strobel alteró genéticamente la bacteria para que pudiese producir mayores cantidades del antibiótico e inyectar entonces estas bacterias a catorce olmos y ver si los inmunizaba contra la enfermedad.

Después de cursar la instancia correspondiente a la Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA), se dio cuenta de que si esperaba el permiso tendría que retrasar un año el experimento. Por consiguiente decidió no esperar e hizo el experimento sin recibir la necesaria autorización.

Argumentó diciendo que las bacterias estarían dentro del árbol, no podrían establecer contacto con la gente y no causarían ningún efecto a las personas, aunque existiese aquel contacto; que el objetivo era bueno y el peligro inexistente.

La EPA se vio obligada a decidir lo que había que hacer. Si no hacía nada, parecería que la agencia reguladora era un tigre de papel, desdentado, del que podía hacerse caso omiso. La alternativa era castigar al investigador con un apercibimiento, una multa o incluso una pena de prisión. Pero el castigo no le habría alcanzado sólo a él, sino que la universidad en la que trabaja habría podido perder su asignación federal.

Un castigo severo puede indignar a los científicos, pero también puede evitar actitudes como la del doctor Strobel. En definitiva, el doctor Strobel se vio obligado a talar y destruir sus catorce olmos para evitarse problemas y evitárselos a su universidad.

EL DESTELLO DELATOR

Para diagnosticar una infección bacteriana hay que identificar las bacterias concretas que están presentes. Hay que tomar una muestra del fluido corporal, cultivar las bacterias que puede contener, y estudiarlas. Al cabo de unos días se podrá saber qué bacterias han causado la infección y decidir lo que hay que hacer. Es posible que dentro de unos años se pueda hacer todo esto en diez minutos y conocer el resultado gracias a un destello luminoso, un destello de una luz muy especial que no emite calor.

Por lo general asociamos la luz con el calor. Si algo se calienta lo suficiente, irradia luz. La manera habitual de producir esto es quemando algo. La combinación de combustible y oxígeno desprenderá calor y luz. O podemos hacer pasar una corriente eléctrica por un filamento fino y resistente, que se calentará y emitirá luz. Esta «luz incandescente» es ineficaz, porque la mayor parte de la energía se pierde en calor.

Recientemente se ha descubierto una manera práctica de lanzar luz ultravioleta sobre ciertos polvos que absorben el ultravioleta y desprenden después la energía ganada con luz visible, produciendo muy poco calor. Esta «luz fluorescente» es más eficaz que la luz incandescente.

Pero en este terreno la naturaleza se nos ha adelantado en millones de años. Hay formas de vida, especialmente bacterianas y en su mayoría marinas, que irradian una luz llamada «bioluminiscente», sin desprender calor alguno. Este fenómeno es raro en tierra, aunque tenemos las luciérnagas que emiten periódicamente una pálida luz por el abdomen. Lo hacen sobre todo como señal para encontrarse con fines de apareamiento. Esto interesa no sólo a los biólogos sino también a los químicos, que quieren saber cómo puede producirse aquella luz.

La luciérnaga posee un compuesto bastante raro llamado «luciferina» (del latín «portador de luz»). Ordinariamente no hace nada pero en presencia de una enzima llamada «luciferaza» (también presente en las luciérnagas) puede reaccionar fácilmente con una molécula de trifosfato de adenosina (ATP). Esta sustancia está presente en todas las células vivas sin excepción, desde la de las bacterias hasta las de los seres humanos.

El ATP es un compuesto de «alta energía», y su función en las células es llevar un poco de energía a los sitios donde es necesaria (razón por la cual tiene que estar presente en todas partes y no podamos vivir sin ella). Cuando el ATP transfiere un poco de energía a la molécula luciferina, ésta se transforma en una molécula ligeramente diferente, llamada «oxiluciferina». La oxiluciferina, que ha recibido energía de esta manera, es bastante inestable y tiene una fuerte tendencia a liberar aquella energía extra y volver a convertirse, casi inmediatamente, en la más estable y menos energética luciferina.

En las células vivas se forman toda clase de moléculas energéticas, que generalmente pasan su energía a otras moléculas, que a su vez la pasan a otras, y así sucesivamente. Estos juegos malabares de energía, de molécula a molécula, hacen posibles todas las

complejas reacciones que caracterizan el estado vivo. En este proceso se produce cierta cantidad de calor, que en el caso de las aves y de los mamíferos mantiene la temperatura del cuerpo bastante alta y constante.

Pero la oxiluciferina es excepcional. Su energía no pasa a otras moléculas, sino que es despedida como un pequeño destello y sin producir calor. Esta insólita acción no se limita al interior de las células de la luciérnaga. La luciferina y la luciferaza pueden ser extraídas fácilmente de ella. Si se añade un poco de ATP a una solución de estos materiales, la luciferina se transforma en oxiluciferina, que se descompone de nuevo en luciferina, de modo que toda la solución empieza a resplandecer.

Ahora bien, supongamos que sumergimos un palito en una muestra de orina y después en una mezcla de luciferina y luciferaza. La orina normal tiene poco o nada de ATP, lo cual quiere decir que nada le ocurrirá a la mezcla de luciferina y luciferaza. Pero ¿y si hay una infección en las vías urinarias que hace que células bacterianas (y por tanto ATP) estén presentes en la orina? En tal caso, la mezcla de luciferina y luciferaza emitirá luz.

Para hacer más delicada la prueba, se trata la orina para destruir todo el ATP que pueda tener y que no sea el que está presente en las células bacterianas. Tampoco nos fiaremos de la vista para ver la luz, sino que emplearemos aparatos especiales que pueden no sólo detectar la luz sino medir exactamente su brillo. Cuanto más brillante sea la luz, más alta será la concentración de bacterias.

Naturalmente todas las bacterias aportarán ATP y producirán aquella luz, pero se pueden emplear antibióticos que destruyan ciertas bacterias que no interesen dejando aquellas que sí interesan, y haciendo así que la prueba con luciferina y luciferaza sea específica.

De esta manera se puede comprobar con rapidez y precisión si hay contaminación bacteriana, por ejemplo, en toda clase de comidas y bebidas. Así se podría comprobar mucho más fácilmente si los huevos y los pollos tienen salmonela, infección que ha sido particularmente grave y a veces hasta fatal.

Todavía hay que recorrer más camino para que las pruebas sean prácticas y exactas, pero el principio está aquí.

EL PROYECTO GENOMA

James Dewey Watson es uno de los más grandes bioquímicos americanos. En 1953 contribuyó a establecer la estructura de la doble hélice del ADN, componente básico de la vida.

Por esto compartió el Premio Nóbel de fisiología y medicina en 1962. Y en el otoño de 1988 fue elegido para dirigir el proyecto genoma.

¿Qué es el proyecto genoma? En realidad, ¿qué es el genoma?

Digamos, para empezar, que la infinita complejidad de la vida se apoya en el hecho de que en cada célula hay muchos miles de reacciones químicas, que se producen simultáneamente y que afectan a las demás. No hay dos especies ni dos individuos de la misma especie cuyas reacciones químicas sean exactamente iguales. Incluso son diferentes en células diferentes del mismo individuo. La naturaleza de cada individuo, cada pizca de vida, vienen determinados por las reacciones químicas entrelazadas.

Cada reacción química es controlada por una molécula enzimática diferente, una molécula grande y compleja compuesta por docenas o centenares de unidades más pequeñas, las veinte clases de aminoácidos que están dispuestos en cadena. Si un aminoácido individual está fuera de lugar y ligeramente modificado en éste, la

capacidad de una enzima particular para hacer su trabajo puede ser completamente alterada.

Cada enzima es producida según las directrices contenidas en los genes que hay dentro de los cromosomas situados en el núcleo de la célula. Cada gene consiste en una larga hilera de moléculas de ácido nucleico, cuyas estructuras fueron determinadas por Watson y su colaborador Francis Crick. El ácido nucleico se compone de miles de unidades llamadas «nucleótidos», de cuatro variedades diferentes, dispuestos en una doble hélice, que parece como dos muelles de somier colocados juntos. Los cuatro nucleótidos diferentes suelen designarse con las iniciales de sus nombres: A, C, G y T.

Si pudiésemos determinar el orden exacto de todos los nucleótidos en los ácidos nucleicos de los cromosomas humanos tendríamos una serie de letras —AACGTGTCGAA... y así sucesivamente— que constituirían el «genoma humano». Si cogemos estas letras de tres en tres, cada «trío» representa un aminoácido particular. El orden de los tríos determina el de los aminoácidos en la enzima, y por consiguiente la estructura de las enzimas. Si conociéramos el genoma daríamos un paso de gigante hacia la comprensión del esquema del ser humano en sus detalles. A su vez esto nos permitiría comprender todas las reacciones químicas y quizá cómo afectan unas a otras.

No es un proyecto sencillo. En el ser humano hay tal vez 50.000 enzimas que controlan 50.000 reacciones químicas. Las moléculas de ácido nucleico que contienen la información que conduce a la formación de estas enzimas están hechas de hasta 6.000 millones de nucleótidos. Si estos nucleótidos fuesen representados por letras en el orden correcto, esto representaría mil millones de palabras o, a grosso modo, un equivalente de 360 libros, cada uno de ellos del tamaño de un volumen de la *Encyclopaedia Britannica.* Esto es mucha información, pero un conocimiento completo del cuerpo humano la requiere.

Incluso hoy, sólo una milésima parte de los nucleótidos han sido colocados en orden, unos pocos aquí y otros pocos allá, pero los métodos para determinarlo se están mejorando y automatizando rápidamente. Es posible que dentro de unas décadas quede establecido el genoma humano.

Pero ni siquiera esto será bastante. Nos dará el «genoma humano estándar», el correspondiente a un ser humano normal y sano. Sin embargo muchas personas nacen con algunos genes defectuosos que pueden dar como resultado serias anomalías metabólicas de nacimiento y heredadas. Se conocen, al menos, cuatro mil anomalías de éstas que están codificadas en el genoma al nacer el individuo, y es importante que tengamos métodos para detectar cuanto antes estas anomalías en el genoma.

Más aún, incluso en los seres humanos sanos y normales existe una variedad de genes que pueden no suponer anomalías graves, pero que dan lugar a características individuales.

Los genes, en sus diferentes variedades, dan colores diferentes a los ojos y a los cabellos, formas diferentes a la nariz y al mentón, y diferente estatura y constitución. Sería útil identificar las variedades importantes de manera que cada individuo pudiese tener su propio genoma y su «huella dactilar» de ácido nucleico.

Esto no quiere decir que cada persona tenga que llevar su genoma de 360 gigantescos volúmenes en su ordenador personal, sino simplemente un registro de las variaciones más importantes.

En definitiva, tal vez los científicos determinarán los genomas de cada uno de los dos millones de especies de plantas, animales y organismos microscópicos que viven en la actualidad. Esto podría darnos una mejor comprensión de las relaciones entre las cosas vivas y una idea más detallada del curso de la evolución biológica. En teoría incluso podríamos establecer nuevas clases de genomas que ninguna especie posee y aprender

algo de lo que podría haber ocurrido en biología. El proyecto que está dirigiendo el doctor Watson es realmente impresionante, pero es una persona muy capacitada para llevarlo a cabo.

LA PRIMERA MIRADA A LA MOLÉCULA DE ADN

En enero de 1989 los científicos pudieron echar su primera mirada directa a una molécula muy importante.

Hace casi cuatrocientos años que los científicos están mirando objetos demasiado pequeños para ser percibidos a simple vista. Al principio se emplearon lentes que obligaban a la luz a curvarse, y de esta manera enfocar y ampliar la imagen del objeto que la reflejaba. El aparato utilizado para esto era el microscopio.

Con el paso del tiempo, los microscopios se fueron perfeccionando hasta que al fin pudieron aumentar mil veces los objetos. Llegados a este punto, los científicos tropezaron con una barrera física. La luz consiste en ondas. Estas ondas son pequeñas, pero también lo eran los objetos colocados en el microscopio. Algunos lo eran más que las ondas de luz empleadas para verlos. Entonces estas ondas tendían a saltar sobre ellos, de manera que los objetos permanecían invisibles.

Para salvar este obstáculo había que emplear ondas más cortas de luz, como las ultravioletas. Por consiguiente, los científicos emplearon durante un tiempo los «ultramicroscopios», pero éstos sólo representaban una pequeña mejora.

Aunque las ondas eran más cortas, no se podían enfocar debidamente.

Pero en 1923, un científico francés, Louis de Broglie, observó que las partículas subatómicas debían existir también en forma ondulatoria. En 1925, un científico americano, Clindon J. Davisson, pudo detectar las ondas producidas por los electrones. Estas ondas de electrones eran mucho más cortas que las de la luz ordinaria. En realidad eran del tamaño aproximado al de las ondas de rayos X. Pero así como las ondas de rayos X podían ser muy difíciles de enfocar, los electrones y sus ondas podían ser fácilmente enfocados por campos magnéticos.

El primer aparato empleado para enfocar ondas de electrones y ampliar de esta manera las imágenes de objetos fue construido en 1932 por un científico alemán, Ernest Ruska.

Fue el «microscopio electrónico». Al principio era tosco, pero con los años fue perfeccionado hasta que pudo ampliar 300.000 veces los objetos.

En estos instrumentos, al principio los electrones tenían que pasar a través de un objeto para producir una imagen ampliada. Los científicos tenían que trabajar con piezas muy finas de material. Pero entonces se encontró la manera de producir un haz muy fino de electrones y hacerlo pasar por encima de la superficie del objeto. El haz «tanteaba» su camino, por así decirlo, a lo largo de la superficie, barriéndola y produciendo una imagen ampliada. Fue el «microscopio electrónico de barrido».

Una versión aún más nueva produce ahora los electrones Por medio de lo que los científicos llaman un «efecto de túnel» y tenemos un «microscopio electrónico de efecto túnel de barrido», que ha alcanzado nuevos máximos de ampliación. Puede ampliar un millón de veces los objetos y fue empleado Por Miguel B. Salmerón y otros científicos en el laboratorio Lawrence Livermore de California, a principios de 1988, para echar una primera mirada a una molécula de ácido desoxirribonucleico (ADN).

El ADN es importante porque lleva consigo el modelo de la vida. Toda célula viva contiene una serie de moléculas de ADN que se están reproduciendo constantemente, pasando las moléculas recién creadas a las células hijas. Estas series existen también en las células del esperma y del óvulo, de manera que pueden pasar de padres a hijos. Cada

especie viva tiene su propio juego de moléculas, y hay también pequeñas diferencias en los diferentes individuos de la misma especie.

La importancia del ADN fue reconocida por primera vez en 1944, y los científicos trabajaron para descubrir cómo podían estas moléculas producir otras exactamente iguales que ellas.

En 1953 lo descubrieron un científico británico, Francis H. C. Crick, y su colaborador americano, James D. Watson.

Los rayos X, al pasar a través de las moléculas, tienden a rebotar a un lado. Fotografías de estos rayos X producen puntos donde rebotan aquellos, y de estas «imágenes de difracción de rayos X» es posible deducir la forma de la molécula. Después de mucho tiempo y de mucho trabajo minucioso, al fin resultó que la molécula de ADN se componía de dos cadenas complejas de átomos entrelazadas en una doble hélice (la forma de muelles de somier). Cada cadena tenía una forma complicada, y las dos se adaptaban exactamente.

Cuando el ADN forma otra molécula igual, las dos cadenas se separan y cada una toma pequeños grupos de átomos del fluido celular y los junta en una nueva cadena que encaja exactamente con la original. Cada cadena sirve de modelo para formar una nueva compañera. Así pues, en definitiva, cada molécula de ADN produce dos moléculas de ADN exactamente iguales.

Este descubrimiento valió a Watson y Crick el Premio Nóbel de 1962, y su trabajo fue considerado un triunfo de sutil investigación científica. Describieron la doble hélice de la molécula de ADN y su funcionamiento con todo detalle, aunque era demasiado pequeña para que pudiesen verla.

Pero treinta años después de los trabajos de Watson y Crick, se han conseguido fotografías de una molécula de ADN con un microscopio electrónico de efecto túnel, y no ha hecho falta ningún razonamiento sutil. Hay una doble hélice, visible. La molécula se enrosca como se presumía. De la imagen, es posible deducir la distancia entre vueltas sucesivas; aproximadamente es de 34 diezmillonésimas de milímetro.

Salmerón y su grupo están proyectando perfeccionar todavía más el método para ver si pueden observar detalles aún más exactos de las cadenas. También intentarán conseguir imágenes de otras moléculas.

LA CABEZA DE UN ALFILER

Todos hemos oído decir que en la Edad Media los eruditos debatían la cuestión de cuántos ángeles podían bailar sobre la cabeza de un alfiler. Lamento no saber cómo acabó la discusión.

Pero hoy en día los científicos pueden hacerse una pregunta parecida y obtener una respuesta bastante sorprendente.

Si hablamos de los ángeles nos referimos a seres sobrenaturales, y esto significa que no están sujetos a las leyes de la naturaleza. Por consiguiente, si lo desea, el ángel puede no ocupar espacio alguno. Si argumentamos de esta manera, sobre la cabeza de un alfiler pueden bailar un número infinito de ángeles. No sé si ésta fue la respuesta aceptada por los eruditos medievales, pero de haber sido así no tenían manera de demostrar la verdad de la hipótesis.

En cambio los científicos están atados por las leyes de la naturaleza, de manera que si preguntan, por ejemplo, cuántas palabras pueden inscribirse en la cabeza de un alfiler, saben que no puede ser un número infinito. Cada letra ocupa un espacio y no hay mucho espacio en la cabeza de un alfiler, por lo que se cree que no se pueden inscribir muchas

palabras. Si miramos un alfiler, nos parece que inscribir una sola palabra requeriría un trabajo inmenso.

Desde luego a veces leemos de personas que consiguieron inscribir el Padrenuestro sobre una cabeza de alfiler. Supongo que debían emplear una lupa muy potente y un estilete muy fino, y que debían tener muy firme el pulso. Inscribieron todas las letras de manera que cualquiera que posea una lupa de gran aumento pueda leer «Padre nuestro que estás en los Cielos...» y quedarse pasmado.

Pero ¿qué pueden hacer ahora los científicos? Bueno, pueden emplear no un estilete sino un haz de electrones muy bien enfocado. Los investigadores de la Universidad de Liverpool dicen que utilizan un rayo tan bien enfocado que traza una línea que sólo tiene dos átomos de anchura. Esta línea es tan fina que podrían trazar un millón de ellas en la anchura de una raya de lápiz corriente. Por supuesto, esto no puede hacerse a mano. El más ligero temblor confundiría irremediablemente las líneas. El haz electrónico tiene que estar bajo el control de un ordenador.

Ahora consideremos una cabeza de alfiler. Una cabeza de alfiler corriente podría tener un milímetro de anchura. Los átomos que la constituyen son tan diminutos (menos de 2,54 cien millonésima de centímetro de ancho) que hay unos cuatro billones (4.000.000.000.000) de átomos en aquella cabeza de alfiler.

Imaginemos todos aquellos átomos agrupados en cuadrados, cada uno de ellos con doce átomos por lado, o sea 144 átomos en conjunto. Habría 28.000 millones (28.000.000.000) de aquellos cuadrados en la cabeza de alfiler. En cada uno de estos cuadrados podría inscribirse una letra, y algunos podrían dejarse en blanco, sirviendo de espacio entre las letras.

Como hay un promedio de seis letras por palabra (contando el espacio entre palabra y palabra como una letra en blanco), los 28.000 millones de cuadrados podrían llenarse con 4.700 millones de palabras (4.700.000.000.)

Son muchas palabras. Calculo que un ejemplar de la *Encyclopaedia Britannica* contiene unos 50 millones (50,000.000) de palabras. Esto significa que podemos introducir en la cabeza de alfiler toda la *Encyclopaedia Britannica y* emplear sólo un poco más del uno por ciento del espacio. Podríamos hacer cada letra diez veces más alta y diez veces más ancha que lo que hemos sugerido y embutir todavía la *Encyclopaedia Britannica* en la cabeza de alfiler.

Los científicos de la Universidad de Liverpool han demostrado que esto puede hacerse, copiando una página de la Enciclopedia en una cabeza de alfiler, a una escala lo bastante pequeña como para que hubiese podido caber toda la Enciclopedia si hubiesen continuado. (Desde luego no serviría de gran cosa meter la Enciclopedia en una cabeza de alfiler, como no fuera para demostrar lo exquisita que es la técnica.)

El haz de electrones puede emplearse más provechosamente como instrumento analítico, indicando a los científicos qué clase de elementos están presentes en determinados lugares.

Podría aplicarse por tanto al problema de los materiales superconductores, que varían de una hornada a otra según pequeños cambios de las proporciones de los elementos presentes.

El haz electrónico puede enfocarse a los límites entre las capas de cristales del superconductor, y esto hará que los átomos emitan rayos X. La exacta longitud de onda de los rayos X depende de la naturaleza de los átomos presentes, y de esta manera el haz electrónico puede identificar los diferentes elementos presentes y la cantidad exacta de cada uno de ellos.

Esta clase de análisis puede enseñarnos muchísimo sobre la superconductividad y ayudarnos a emplearla en diversas tecnologías que podrían cambiar enteramente nuestra sociedad.

También me parece que algo capaz de marcar tan finamente el material podría ser útil para producir pequeños circuitos en los chips de ordenador. Miles de millones de circuitos podría encajarse fácilmente en un solo chip de 6,4 milímetros de lado, y sin producir calor perturbador, si se empleasen materiales superconductores. Podrían construirse complicadas maquinas de pensar, y esto podría significar una inteligencia artificial tan capaz como la nuestra, o tal vez más. Que quisiéramos hacerlo o no, esto desde luego es otra cuestión.

NUESTRO RELOJ BIOLÓGICO

A Principios de 1989, una joven llamada Stefania Follini permaneció voluntariamente cuatro meses bajo tierra. Estaba en un módulo de plexiglás de seis metros de largo por tres y medio de ancho, aproximadamente las dimensiones de un confortable cuarto de estar. Esta vivienda se hallaba a nueve metros debajo del suelo, en un lugar próximo a Carlsbad, Nuevo México. No había luz solar, ni reloj, ni manera de saber la hora. Ella hacía sola su trabajo, en condiciones cómodas pero donde no existía el tiempo.

La cuestión era: ¿Cómo influiría todo esto en su «reloj biológico», en su sentido innato del tiempo? La respuesta era que el reloj biológico se estropeaba durante un período prolongado sin indicaciones externas.

Todos y cada uno de nosotros tenemos un reloj biológico: un reloj que mantiene las funciones de nuestro cuerpo adaptadas a diversos ritmos. En una palabra, todos tenemos un ritmo natural.

Cuando es la hora de comer, tenemos hambre. Cuando se acerca la hora de dormir, tenemos sueño. No necesitamos mirar el reloj para saber si es la hora de comer o de dormir.

Nos despertamos más o menos a la hora adecuada por la mañana, aunque aún no haya amanecido. (Como nota personal, confieso que soy madrugador; me despierto a las 5 de la mañana, en invierno y en verano, tanto si el día está sereno, nublado o si aún es de noche, y prácticamente nunca me retraso más de unos pocos minutos aunque ni siquiera tengo despertador.)

Está claro que el ritmo que determina nuestro sueño y nuestro despertar se rige más o menos por el Sol. La mayoría de nuestros ritmos más conocidos tiene altibajos que se repiten diariamente. Son los «ritmos circadianos» (de unas palabras latinas que significan «alrededor de un día»).

Hay también ritmos mensuales para diversas formas de vida en la costa, al subir o bajar más las mareas, de acuerdo con las posiciones relativas de la Luna y del Sol. Hay ritmos anuales que determinan fenómenos tales como la migración de las aves y de otros animales al cambiar las estaciones.

Indudablemente, los seres humanos también tenemos ritmos largos de esta clase, pero el ritmo diario es el más perceptible.

Y no es sólo el ritmo de comer y de dormir el que fluctúa diariamente. También lo hacen el humor y las actitudes. Si uno se despierta a las 3 de la madrugada y considera un problema particular, puede parecerle que las dificultades son insuperables. El mismo problema, considerado a las 11 de la mañana, parece bastante trivial. El problema no ha cambiado.

Sólo ha cambiado el humor.

Desde el punto de vista médico, los ritmos circadianos pueden ser fundamentales. La reacción de una persona a las drogas o el tipo de respuesta alérgica varían según un ritmo circadiano, y hay médicos que empiezan a tenerlo en consideración al prescribir medicamentos. Más aún, el ritmo no es necesariamente el mismo en todo el mundo. Hay «personas de mañana» y «personas de noche».

Todo lo que trastorna el ritmo puede reducir considerablemente la eficacia. Por ejemplo, las personas que tienen que cambiar a turnos de noche pueden tener dificultad en reaccionar con eficacia en casos de emergencia. A las once de la mañana tienen que hacer frente a los problemas, con un cuerpo de las tres de la madrugada.

Los largos viajes rápidos, hacia el este o el oeste, hacen que uno llegue a una hora local muy diferente de aquella a la que partió, y de nuevo pierde el ritmo; esto es lo que llamamos *jetlag.* Se aconseja a los viajeros que esperen un poco, que se acostumbren al nuevo ritmo, antes de tomar decisiones importantes.

Entonces, ¿qué le ocurrió al reloj biológico de la señorita Follini durante aquel período de cuatro meses sin tiempo, sin indicaciones externas que le ayudasen a conservar el ritmo? Su sentido del tiempo se descompuso totalmente. Cayó en un ritmo con altibajos, y sólo con la mitad de la rapidez normal.

Trabajaba durante treinta horas seguidas. Dormía de veintidós a veinticuatro horas. Alargó los intervalos entre las comidas y perdió ocho kilos. Su período menstrual (de un ritmo más o menos mensual) se interrumpió del todo. La joven acabó pensando que había estado dos meses bajo tierra, no cuatro, y cuando salió en mayo creía que estaba a mediados de marzo.

Todo el estudio sobre los relojes biológicos es importante desde el punto de vista teórico, pero también tiene sus aspectos prácticos.

Mientras estemos aquí, en la superficie de la Tierra, podemos confiar en estímulos exteriores. Pero llegará un tiempo en que estaremos en el espacio. En la Luna, el «día» dura dos semanas, y la «noche» lo mismo. En una instalación espacial rotatoria, el «día» y la «noche» pueden durar dos minutos cada uno. En una colonia subterránea en la Tierra o en una colonia sin ventanas en el espacio, podría no haber «día» ni «noche» en absoluto.

Entonces en todas estas circunstancias, sería necesario establecer una alternancia artificial de día y noche que durase un período de veinticuatro horas. A fin de cuentas, nuestros cuerpos han evolucionado durante un tiempo incalculable para seguir este ritmo, y deberíamos respetarlo.

III. FRONTERAS DE LA TIERRA

LA TIERRA EN MOVIMIENTO

Aunque los floridanos de hoy en día no tendrán que preocuparse en hacer pronto los bártulos, los científicos han explicado que América del Norte se mueve ligeramente hacia el Polo Norte, y algunos creen que un dramático movimiento de la Tierra hace más de 70 millones de años pudo causar la extinción de los dinosaurios.

Podemos explicar la manera en que tiene lugar este movimiento por la posición de los polos. En los últimos ochenta años, el Polo Norte se ha movido unos diez metros en dirección al este de Canadá, o sea, casi un metro y medio al año.

Esto no ha ocurrido así porque se mueva el Polo, sino porque la superficie de la Tierra cambia de posición debajo de él y América del Norte se mueve en su dirección, en posición sesgada.

Este desplazamiento de la Tierra no es muy grande, pero si continúa a este ritmo y en esta dirección, Nueva York puede encontrarse, dentro de 10 millones de años, 1.300 kilómetros más cerca del Polo Norte. Desde luego es muy probable que con el tiempo este movimiento se produzca a velocidades y en direcciones diferentes, de manera que no podemos predecir fácilmente dónde se encontrará un punto particular de la superficie de la Tierra dentro de millones de años, ni donde estuvo millones de años atrás.

Podemos dejar que el futuro se cuide de sí mismo. Pero el pasado es otra cuestión, pues el curso de la evolución puede haber dependido en parte de la posición de las masas de tierra con respecto a los polos en diferentes tiempos.

Una de las razones de este movimiento de la Tierra es bien conocida desde hace un cuarto de siglo. La corteza terrestre está dividida en media docena de grandes placas y unas pocas más pequeñas, y unas se mueven respecto a otras, según creen algunos científicos, debido al efecto de tracción de lentos remolinos de la roca fundida a altísimas temperaturas, muy por debajo de la superficie.

Las placas pueden incluir continentes enteros en su superficie, por ejemplo la placa norteamericana lleva a América del Norte sobre su espalda. Si esta placa se mueve muy lentamente hacia el norte, América del Norte se mueve muy lentamente en la misma dirección, acercándose al Polo Norte.

Pero parece que estos movimientos de las placas no explican totalmente los cambios de posición de los continentes.

Existe un movimiento adicional de toda la Tierra en una u otra dirección, a ritmos a veces tan rápidos como los movimientos de las placas. Hasta es posible que en períodos de tiempos relativamente cortos, el movimiento de toda la Tierra sea todavía más rápido.

¿Cómo pueden estar los científicos seguros de esto? Un geólogo británico, Roy Livermore, y sus colaboradores emprendieron esta tarea. Para empezar, midieron la velocidad en que se mueven ahora las diferentes placas.

Entonces estudiaron la alineación magnética en rocas antiguas, y esto les dio la posición del polo norte magnético. El polo norte magnético no coincide exactamente con el Polo Norte geográfico; pero en millones de años, las posiciones medias de las dos clases de polos son casi iguales.

Conociendo los movimientos medidos de las placas y las alineaciones magnéticas, los científicos pudieron calcular entonces dónde estaba situado el Polo Norte en relación con los continentes, en diferentes épocas del pasado. Esto les dio los movimientos globales de las placas a lo largo de millones de años.

Pero ¿qué decir del movimiento total de la Tierra en su conjunto?

Para determinar esto, Livermore y sus colaboradores estudiaron ciertos «lugares cálidos» donde la roca inferior a altísimas temperaturas consigue abrirse camino hacia la superficie.

Estos lugares cálidos no se mueven como las placas porque éstas son parte de la corteza y aquellos tienen su origen debajo de la corteza. Así, al moverse la placa del Pacífico, el lugar cálido formó una serie de islas volcánicas que constituyen el actual estado de Hawai. Estas líneas de islas pueden cambiar de dirección y esto indicaría un movimiento en la Tierra como conjunto. Livermore deduce de sus estudios que en los últimos 90 millones de años el Polo Norte se ha movido aproximadamente medio centímetro al año, por término medio, lo cual representaría un desplazamiento total de unos 456 kilómetros. Sin embargo, entre 70 y 100 millones de años atrás, en que se curvaron las líneas de lugares cálidos, parece que el desplazamiento total debió ser de unos 1.600 kilómetros. Aunque el movimiento total abarcase todo el período de 30 millones de años, eso significaría el triple de la velocidad actual. Si se produjo en un lapso de tiempo más breve aún sería más rápido. Esto se debió probablemente a un movimiento de la Tierra como un conjunto más que a los movimientos de las placas, que cabría suponer que mantuviesen un ritmo más regular.

¿Qué pudo causar el movimiento de la Tierra en su conjunto? La explicación más razonable es un cambio en la distribución de la masa de la Tierra. Durante un período glacial, pasaron grandes cantidades de agua desde el océano al enorme casquete glaciar del Ártico. Este movimiento de masa hacia el norte hizo que la Tierra cambiase un poco su posición.

Pero cuando chocan dos masas de tierra, como cuando chocó la India con Asia hace unos 40 millones de años, gran parte de la corteza se hunde en la roca fundida de debajo de ella y se distribuye en toda la Tierra. Esto mueve también la masa y hace que la Tierra se retuerza. Puede haber incluso cambios de masa en las profundidades de debajo de la corteza.

Algunos de estos cambios de masas pudieron ocurrir hace unos 70 millones de años. Fuera cual fuese su naturaleza, ¿pudo ser causa de la extinción de los dinosaurios hace unos 65 millones de años? Por ahora los científicos sólo pueden preguntárselo.

LA TIERRA SE BALANCEA

La Tierra gira alrededor de su eje. Si fuese una esfera de forma perfecta, perfectamente simétrica en su constitución interior, perfectamente rígida y perfectamente aislada en el espacio, giraría eternamente alrededor de un eje inmóvil. Pero eso no es así, y por consiguiente la Tierra se balancea. Se habían observado tres balanceos diferentes antes del mes de julio de 1988, en que se descubrió y anunció el cuarto.

Si se estudian atentamente los movimientos de las estrellas durante la noche, puede observarse que describen círculos alrededor de cierto punto en el cielo que está precisamente sobre el Polo Norte de la Tierra. (La Estrella Polar está cerca de aquel punto pero no coincide exactamente con él.) Si se estudian las estrellas año tras año, puede verse que aquel punto central se desplaza lentamente. Esto se debe a que el eje de la Tierra se mueve porque la Tierra no es una esfera perfecta sino que está abultada en el ecuador.

La Luna y el Sol tiran de ese abultamiento y hacen que el eje de la Tierra se mueva describiendo lentamente un círculo.

El círculo se cierra en unos 26.000 años. A este efecto se le llama «precesión de los equinoccios», porque como resultado del movimiento los equinoccios llegan cada año

un poco antes que el año anterior. Éste es el balanceo más importante del eje de la Tierra y fue descubierto por los antiguos griegos.

El eje de la Tierra no describe un círculo perfecto al moverse. La atracción de la Luna cambia ligeramente con el tiempo, porque algunas veces está un poco más cerca de la Tierra que otras. Esto produce una pequeña oscilación en el círculo de la precesión, una diminuta onda que se repite cada diecinueve años.

El astrónomo británico James Bradley hizo este descubrimiento en 1748, partiendo de un cuidadoso estudio de la posición de las estrellas. Este ligero movimiento oscilatorio se llama «nutación», de una palabra latina que significa «balanceo», porque el eje parece balancearse ligeramente al salir del círculo de la precesión de dos equinoccios.

Pero esto no es todo porque en 1765 un matemático suizo, Leonhard Euler, ya predijo que los polos de la Tierra debían moverse a lo largo de pequeños círculos en un período de un año. El movimiento era demasiado pequeño para que alguien lo detectase en aquella época, pero con el paso de los años se hicieron más precisos los telescopios y otros instrumentos.

Por último, en 1892, un astrónomo americano, Seth C. Chandler, pudo estudiar las estrellas con tanta precisión que detectó unos pequeñísimos cambios en su posición, que podrían explicarse por el cambio de posición de los polos de la Tierra. Esto fue llamado «período de Chandler».

El período de Chandler es un movimiento más o menos circular de los polos. El círculo se completa en unos 430 días.

No es un círculo exacto sino que tiende a ensancharse algunos años más que otros. Es un pequeño balanceo y los cambios de posición de los polos en el curso de un año es sólo de unos nueve metros. Cualquiera podría pensar que este cambio no es lo suficientemente grande como para poder ser detectado, pero en cambio lo fue y esto demuestra lo precisos que han llegado a ser los instrumentos astronómicos. Si éste era el movimiento predicho por Euler, hubiera debido cesar al cabo de un tiempo, pero no es así. Lo cierto es que continúa. Los astrónomos creen que esto se debe a que la distribución de la materia en la Tierra cambia de vez en cuando. Generalmente esto se debe a un fuerte terremoto, que altera el equilibrio de las rocas del interior de la Tierra; no mucho pero sí lo suficiente para alterar la rotación de ésta, que desvía lentamente el polo unos pocos metros. Naturalmente, cuanto más fuerte es el terremoto mayor es la desviación, haciendo que el período de Chandler sea mayor algunos años que otros.

Pero no se necesita un terremoto para hacer que la Tierra se balancee. Cualquier alteración en la distribución de su masa, aunque sea muy pequeña, produce balanceos, como predijo el científico británico lord Kelvin en 1862. Desde luego, cuanto más pequeño sea el cambio menor será el balanceo.

Los métodos para detectar cambios en la posición de la Luna o de los satélites artificiales han seguido mejorando.

Ahora pueden hacerse rebotar rayos láser en aquellos cuerpos, y midiendo el tiempo que tardan en volver se pueden detectar cambios de posición de hasta cinco centímetros. Con ayuda de estas técnicas, científicos del Jet Propulsion Laboratory de Pasadena, California, y de la Atmospheric and Environmental Research de Cambridge, Massachusetts, dieron a conocer la existencia de un cuarto balanceo que hace que el eje se mueva describiendo un pequeño círculo, en un período que puede ir de dos semanas a un par de meses. Este círculo tiene un diámetro que va desde seis centímetros y medio a sesenta centímetros, porque equivale sólo a una treintava parte del de Chandler.

Estudiando cuidadosamente los informes de los satélites atmosféricos, los científicos han llegado a la conclusión de que este diminuto cuarto balanceo es producido por el

cambio en la distribución de la masa cuando el viento hace oscilar la atmósfera. Otros factores pueden ser las tormentas que mueven las aguas, los avances y retrocesos de la capa de nieve, etcétera.

Es asombroso pensar que fenómenos tan familiares como las ráfagas de viento, las corrientes de los ríos, o la fusión de la nieve puedan producir un pequeño balanceo en la vasta y maciza Tierra. Pero por lo visto pueden.

ESOS LUGARES CÁLIDOS OCEÁNICOS

Otro presunto origen de la vida tampoco ha resultado satisfactorio, y los científicos siguen enfrentándose a un enigma sobre el que vienen reflexionando desde hace más de medio siglo.

Se han encontrado huellas inconfundibles de células bacterianas en rocas que tienen 3.500 millones de años de antigüedad, y la Tierra tiene 4.600 millones. Eso quiere decir que tuvieron que evolucionar sustancias químicas en cosas vivas durante los primeros mil millones de años de existencia de la Tierra. Pero ¿cómo? ¿Cuáles son los detalles?

Lo malo es que nadie estaba allí para observarlo y que no tenemos una máquina del tiempo para volver atrás. Sólo nos es posible estudiar la cuestión partiendo de lo que podemos observar actualmente en la Tierra y en el universo.

Los científicos han establecido la estructura química general de la Tierra primitiva. Por ejemplo, en su juventud, la atmósfera de la Tierra no contenía oxígeno; el oxígeno es un producto de una vida más reciente. La atmósfera original de la Tierra estaba compuesta principalmente de dióxido de carbono y de nitrógeno, tal vez con algo de metano y de amoníaco.

Probablemente el océano se encontraba lleno de dióxido de carbono disuelto, como agua de seltz; o lleno de amoníaco, como uno de esos compuestos con que se limpian las ventanas; o de ambas cosas a la vez.

La energía era vertida sobre el aire y los océanos por la luz del Sol, que era rica en luz ultravioleta, porque sin oxígeno no se podía formar ninguna capa de ozono en la atmósfera superior que bloquease aquellos rayos. Había también la acción volcánica para producir calor y los rayos para suministrar energía eléctrica.

La energía debió hacer que el dióxido de carbono o el metano que había en el aire y en los mares se convirtiesen en compuestos de carbono cada vez más complejos, hasta que aparecieron las propiedades replicativas de la vida.

Los científicos han tratado de descubrir el desarrollo exacto que siguió aquella evolución, pero ninguno pareció completamente satisfactorio. Necesitamos más información. Por esto resultó una gran contrariedad descubrir que no había compuestos de carbono en el suelo de la Luna ni de Marte. Si hubiesen existido tales compuestos, habrían podido representar una etapa en el viaje hacia la vida y habrían podido darnos la necesaria información adicional.

Es posible que nuestros problemas se deban a que hemos seguido una dirección completamente equivocada. Así, en 1977, estudios submarinos a gran profundidad revelaron que hay ciertos lugares en el fondo del océano donde el calor de las capas interiores de la Tierra se acerca lo bastante al suelo marino como para producir «chimeneas» desde las que agua muy caliente, rica en minerales, asciende en espiral hacia las aguas más frías. Alrededor de estos «lugares cálidos» vivían bacterias. Estas bacterias obtenían su energía de las transformaciones químicas que se producían en los minerales que ascendían continuamente, y en particular de los que contenían átomos de azufre.

Los animales pequeños se alimentan de estas bacterias, y los animales más grandes de los pequeños. Toda una comunidad de vida, cuya existencia nunca se había sospechado, dependía de la energía de aquellos lugares cálidos y no de la del Sol.

Tal vez se había formado la vida en la superficie del océano, como hemos pensado durante decenios, y las presiones evolucionistas empujaron algunas bacterias hacia abajo, adaptándolas a la vida en los lugares cálidos. Sin embargo, los científicos no pudieron encontrar una argumentación convincente para explicar cómo pudo ocurrir esto.

¿Es posible que fuese en los lugares cálidos donde se formase primero la vida y que desde estos lugares se extendiese a la superficie del océano? Si así fuese, esto explicaría la incapacidad de los científicos para inventar una teoría sobre el origen de la vida en la superficie del océano, porque no se habría originado allí.

Ciertas observaciones parecían confirmar esta teoría. Parece que los lugares cálidos han existido desde los tiempos en que se formó el océano, mucho antes de que existiese la vida, y estas chimeneas supercalentadas ofrecieron un medio ambiente adecuado durante miles de millones de años. Su posición en el fondo del océano protegería los frágiles comienzos de la vida de los efectos perturbadores de la intensa luz ultravioleta y de los trastornos ocasionados por el calor volcánico y el bombardeo meteórico que eran mucho más frecuentes en aquellos primeros tiempos. Además, los minerales en los que son ricos los lugares cálidos son precisamente los importantes para la vida.

Así pues, durante un tiempo se abrigó la esperanza de que podrían conocerse los detalles del origen de la vida en estas condiciones nuevas y totalmente diferentes.

Sin embargo, en 1988, dos científicos, S. I. Miller y J. L. Bada, dieron a conocer un estudio exhaustivo sobre las condiciones en los lugares cálidos y la manera en que estas condiciones podían afectar a las moléculas en desarrollo que se estaban formando en dirección a la vida.

Por desgracia resulta que los lugares cálidos son demasiado cálidos. Sus altas temperaturas harían que los aminoácidos (componentes básicos de las proteínas) que se hubiesen formado allí se descompusiesen, dando sustancias más simples, en cuestión de minutos, y los azúcares en cuestión de segundos. Parece que en aquellas condiciones no habrían podido formarse de ningún modo las proteínas ni los ácidos nucleicos esenciales para la vida.

Por tanto, las bacterias, que son la base de la vida en los lugares cálidos, tuvieron que nacer en otra parte. Esta conclusión hace que los científicos tengan que volver a la superficie del océano para buscar el origen de la vida.

LA GRAN GRIETA

El terremoto más fuerte de la historia de Estados Unidos se produjo el 7 de febrero de 1812, no en California sino en el río Mississippi, cerca de donde ahora está New Madrid, Missouri. Destruyó seis millones de áreas de bosque, cambió el curso del Mississippi en varios lugares, secó algunos pantanos y dio lugar a la formación de algunos lagos. El temblor se sintió en lugares tan lejanos como Boston.

Pero a la sazón era un territorio muy poco poblado, y al parecer no hubo ningún muerto y virtualmente no se produjeron daños en la propiedad privada, por lo que pronto se olvidó.

En comparación con éste, el terremoto de San Francisco de 1906 fue una minucia, pero afectó a una ciudad. Mató a quinientas personas y causó daños materiales por valor de unos 60 millones de dólares, tanto directamente como a través del fuego que siguió al

terremoto. Esto hizo que el terremoto de 1906 fuese el más famoso y terrible de nuestra historia.

El límite entre la placa del Pacífico y la de América del Norte es una gran grieta de la corteza que atraviesa California Occidental, desde San Francisco hasta Los Ángeles, y que recibe el nombre de «falla de San Andrés». La placa del Pacífico gira lentamente en dirección contraria a la de las agujas del reloj, de modo que el borde oeste de California se mueve hacia el norte, en relación con el resto del estado.

Si la falla fuese suave, el borde occidental de California sólo se deslizaría hacia el norte unos centímetros cada año y el movimiento sería casi imperceptible, salvo para los instrumentos científicos de medición muy perfeccionados, y desde luego no inquietaría a nadie. Pero no es así.

Los bordes de las dos placas se mantienen juntos bajo una fortísima presión a lo largo de una línea rocosa muy irregular.

La fricción de un borde contra el otro es enorme, y los dos son mantenidos en su sitio aunque la placa del Pacífico ejerce una fuerza creciente para girar. (Es como cuando se intenta abrir la tapa de un tarro que ha sido enroscada con demasiada fuerza. Cada vez ejercemos mayor presión para desenroscarla, hasta que al fin vencemos la fricción y la tapa gira de repente.)

De manera parecida, el giro inexorable de la placa del Pacífico ejerce cada vez más presión sobre la falla de San Andrés, hasta que ésta cede de pronto y se mueve en algún lugar. En 1906, la falla de San Andrés, en la región próxima a San Francisco, se movió seis metros en sólo unos pocos minutos. Al chocar un borde irregular contra el otro, la sacudida produce las enormes vibraciones que llamamos terremotos.

Ningún otro tipo de catástrofe natural, salvo el impacto de un gran meteorito, puede matar y destruir tanto en tan poco tiempo como las vibraciones del borde de una placa al empujar de pronto hacia delante.

En cuanto cesa el súbito movimiento se reduce la presión sobre la falla. Después aumenta de nuevo lentamente, pero pueden pasar muchos decenios antes de que pueda acumularse hasta el punto de causar otro importante temblor de tierra.

Pero aunque los grandes terremotos no son frecuentes, a menudo se producen pequeños reajustes en lugares diferentes a lo largo de las fallas. (La de San Andrés es sólo una entre muchas, aunque la más famosa.) Como consecuencia de estos pequeños reajustes, se producen frecuentes temblores de tierra de poca intensidad que no causan muchos daños y que incluso son beneficiosos porque alivian algo la presión y retrasan la inevitable aparición del terremoto importante.

Naturalmente, los científicos quieren saber mucho más sobre los movimientos de las fallas para poder predecir los terremotos y hacer que la gente evacue la zona o proteja sus propiedades.

Por ejemplo, la falla de San Andrés, en sus continuos y pequeños reajustes, debería emitir cierta cantidad de energía convertida en calor por la fricción y lanzarla al medio ambiente. Durante veinte años, los científicos han estado midiendo el calor emitido por la falla y han descubierto que siempre oscila entre el 10 y el 20 por ciento de lo que esperaban.

Desde luego los científicos han medido el calor expulsado en o cerca de la superficie de la Tierra, y es posible que la mayor parte del calor se emita a dos o tres kilómetros por debajo de la superficie porque la gran grieta es profunda. Por esta razón, a finales de 1986 dos científicos empezaron a excavar un orificio de más de cinco kilómetros de profundidad a poco más de tres kilómetros de distancia de la falla, en una región situada al nordeste de Los Ángeles.

Podría suceder que el calor medido por los instrumentos en el fondo fuese tan elevado como creen los científicos que debería ser. Entonces se plantearía la cuestión de por qué es tan bajo el calor cerca de la superficie. O podría resultar que el calor medido en el fondo fuese tan bajo como el que se mide cerca de la superficie. En este caso la cuestión consistiría en saber por qué se produce tan poco calor y por qué, con tan poca energía, puede provocar la falla de San Andrés unos terremotos tan impresionantes. Sea como fuere, lo más probable es que aprendamos más sobre los terremotos y que estemos mejor informados para predecirlos.

EL CALOR CENTRAL

¿En qué grado aumenta el calor de la Tierra al profundizarse en ella y cuál es la temperatura en su centro? Estas preguntas son importantes porque las respuestas podrían darnos claves para saber cómo se formó la Tierra y cómo están distribuidos en ella los materiales radiactivos. También podríamos calcular mejor las temperaturas internas de otros cuerpos del sistema solar y aprender más sobre ellos.

Sabemos que la Tierra está más caliente cuanto mayor es la profundidad. Lo sabemos por las minas, por la existencia de los manantiales termales y por los volcanes. Tiene que haber también una importante fuente de energía para generar la fuerza de los terremotos.

Por desgracia los cálculos válidos sobre la temperatura del centro de la Tierra han variado de 4.000 a 6.000 grados centígrados, o de 7.200 a 10.800 grados Fahrenheit, y hasta hace muy poco parecía que no había manera de llegar a una firme decisión.

Pero ahora conocemos algunas características del interior de la Tierra con más certeza. Durante años, los científicos han estado estudiando las ondas que dan lugar a los terremotos en la Tierra. Estas ondas siguen trayectorias curvas. Estudiando estas trayectorias de las ondas podemos determinar el aumento de densidad de la Tierra a diferentes profundidades.

Hasta donde hemos podido excavar, la Tierra es de roca, pero la roca no aumenta de densidad, con la profundidad, lo bastante rápidamente. Esos únicos materiales más densos que la roca son los metales, y el metal más común es el hierro. Por consiguiente, los geólogos están convencidos de que la Tierra tiene un «núcleo» de hierro, rodeado de un «manto» rocoso.

Sabemos que ciertas ondas originadas por los terremotos pueden viajar a través de la materia sólida, pero no de los líquidos. Estas ondas penetran en el manto pero no pueden entrar en el núcleo. Por esta razón, los geólogos han llegado a la conclusión de que el manto puede ablandarse algo al aumentar la temperatura con la profundidad, pero que permanece sólido. En cambio, el núcleo de hierro es líquido.

Esto no es sorprendente. La roca funde a unos 2.000 °C (3.600 F) en condiciones ordinarias, mientras que el hierro lo hace a sólo 1.500°C (2.700 F). Una temperatura insuficiente para fundir el manto sería suficiente para fundir el núcleo.

Pero esto no nos dice cuál es la temperatura en el límite entre el manto y el núcleo. Los puntos de fusión, tanto de la roca como del hierro, se elevan con la presión, y la presión aumenta regularmente con la profundidad. (Cuando la roca profunda es expulsada por los volcanes, el punto de fusión se hace más bajo al descender la presión, y el volcán escupe roca líquida llamada «lava».)

Al penetrar a mayor profundidad en el núcleo, la presión sigue aumentando y el punto de fusión del hierro sigue descendiendo. En realidad el punto de fusión del hierro parece subir más deprisa que la temperatura, de manera que, dentro de los ciento veinte

kilómetros del centro mismo de la Tierra, el núcleo de hierro se convierte en un «núcleo interior» sólido.

La presión ha elevado tanto el punto de fusión del hierro que la temperatura, aunque sigue aumentando, ya no es lo bastante alta como para fundir el núcleo interior.

Si supiésemos cómo aumenta el punto de fusión de la roca y del hierro por la presión, sabríamos la temperatura exacta requerida para fundir el hierro, pero no la roca, en el límite entre el manto y el núcleo. También sabríamos cuál es la temperatura en el límite entre el núcleo exterior y el núcleo interior, pues sería la del punto de fusión del hierro a aquella presión. Pero hasta hace muy poco, los puntos de fusión de la roca y del hierro sólo podían determinarse a presiones mucho más bajas que las de las profundidades de la Tierra, haciendo difíciles los cálculos.

Sin embargo, a principios de 1987, nuevas técnicas, con las que pueden alcanzarse y medirse altísimas presiones y temperaturas por breves intervalos, nos han dado el punto de fusión a presiones diez o doce veces más altas que las que había sido posible producir con anterioridad. Así, el hierro funde a 4.500 °C (5.700 F) a la presión entre el manto y el núcleo exterior, y a 7.300 °C (13.140 F) a las presiones que reinan entre el núcleo exterior y el interior.

Desde luego los científicos no creen que el hierro del núcleo sea puro. Hay otros elementos, principalmente azufre, que podrían hacer que el punto de fusión descendiera hasta en 1.000 °C (1.800 F). Calcular por tanto que la temperatura es de 3500 °C (6.200 F) en el borde exterior del núcleo; 6.300 °C (11.340 F) en el borde exterior del núcleo interior, y 6.600 °C (11.880 F) en el centro mismo de la Tierra.

Es un calor más intenso de lo que creíamos. Resulta que el centro de la Tierra está 1.000 °C (1.800 F) más caliente que la superficie del Sol.

LA PRIMERA CÉLULA

Los científicos están ahora enzarzados en una discusión sobre cómo debió ser la primera célula viva que evolucionó.

Esto no es fácil de decidir, habida cuenta de que la primera célula viva debió empezar a existir hace 3.500 millones de años y que no tenemos una máquina del tiempo para volver atrás y observarlo.

Pero podemos deducirlo.

Para empezar, todas las plantas y animales están formadas por células, y cada una de estas células, sean de un ser humano, de una lombriz o de una planta como el diente de león tiene ciertas características. Por ejemplo, dentro de cada célula hay un objeto diminuto, más o menos redondo, separado del resto de la célula, que contiene los cromosomas y otros materiales necesarios para la reproducción celular. Este objeto redondo se llama «núcleo». Todas las células que lo poseen reciben el nombre de «eucarióticas», de unas palabras griegas que significan «núcleo bueno».

Las células de nuestro cuerpo son eucarióticas. También lo son las de los otros animales y las de las plantas, e incluso las de organismos unicelulares, como las amebas. Sin embargo, es muy improbable que la primera célula fuese eucariótica, porque las eucarióticas son muy complicadas y debieron tener predecesoras más simples.

Incluso en la actualidad hay células más simples que no tienen núcleo. Son muy pequeñas, y los materiales necesarios para la reproducción celular están distribuidos en todas ellas. Se puede discutir si la célula no tiene núcleo o toda ella es núcleo. En todo caso, esas células pequeñas sin núcleo distinto son llamadas «procarióticas», que

significa «precediendo al núcleo», porque debieron ser las primeras en aparecer, y las eucarióticas debieron de evolucionar partiendo de aquéllas.

Las bacterias son procarióticas. Las más conocidas se dividen en dos grupos. Están las bacterias ordinarias, que no pueden elaborar su propio alimento y deben vivir de materiales orgánicos; y están también las bacterias que tienen clorofila y pueden hacer su propio alimento. A estas últimas a veces se las llama «cianobacterias», de una palabra griega que significa «azul», porque la clorofila les da un color verde azulado.

A las bacterias y a las cianobacterias se les llama en conjunto «eubacterias» (es decir, «bacterias buenas»). Las eubacterias elaboran alimento a la manera de las plantas ordinarias o viven de material orgánico a la manera de los animales ordinarios de modo que parecen organismos naturales.

Hay sin embargo tres grupos de procarióticas que obtienen su energía de una manera muy rara, y que pueden haber existido antes que las eubacterias. Están agrupadas bajo el nombre de «arqueobacterias» (de palabras griegas que significan «bacterias antiguas»).

Los tres grupos son: «halobacterias» («bacterias de la sal»), que prosperan en áreas de grandes concentraciones salinas que matarían a las células de otras clases, y que utilizan la luz del Sol como fuente de energía; «metanógenas» («productoras de metano»), que viven en manantiales cálidos donde no hay oxigeno y convierten el dióxido de carbono en metano, y «eocitas» («células del alba»), que viven en manantiales termales ricos en azufre y producen cambios químicos en los compuestos de azufre.

La cuestión es saber cuál de estos tipos de arqueobacterias fue el primero y cómo dio origen a los otros.

Una manera de responder a esta pregunta es considerar que todas las células, sean eucarióticas, eubacterias o arqueobacterias, contienen ácidos nucleicos. Los ácidos nucleicos están hechos de cadenas de nucleótidos, y es posible identificar qué nucleótidos hay en la cadena. Las especies muy relacionadas tienen ácidos nucleicos con cadenas de nucleótidos muy similares. En realidad, lo que produce la evolución es el lento cambio de naturaleza de la cadena de nucleótidos.

Los científicos pueden hacer cálculos sobre la frecuencia en que se producen los cambios, y estudiando las diferencias en las cadenas pueden juzgar hasta qué punto están relacionadas dos especies y cuánto tiempo hace que pudieron tener un antepasado común. Desde luego, ésta es una técnica difícil.

James A. Lake, de la Universidad de California, Los Angeles, dio a conocer a principios de 1988 los resultados de un nuevo programa computadorizado que analizaba las cadenas de nucleótidos en los «ribosomas» (una partícula de la célula esencial para la producción de proteínas) de varios tipos de células.

Considera que los resultados demuestran que las células más antiguas son las eocitas, y que las primeras células que se formaron hace 3.500 millones de años, debían encontrarse en manantiales hirvientes llenos de compuestos de azufre.

Más aún, sus resultados demuestran que los descendientes de estas eocitas se dividieron en dos ramas. De una de ellas descienden las otras procarióticas: las metanógenas, las halobacterias y las eubacterias. De la otra descienden las eucanóticas. En otras palabras, somos descendientes directos de las eocitas, y las procarióticas son nuestras primas lejanas.

Naturalmente, las controversias sobre esta cuestión van a ser acaloradas.

LA CONQUISTA DE LA TIERRA

Durante décadas, los científicos creyeron que la vida en la tierra empezó hace unos 400 millones de años, pero un reciente descubrimiento indica que las primeras criaturas terrestres, cavadores, que probablemente fueron antepasados de los milpiés modernos, pudieron aparecer 50 millones de años antes.

La Tierra existe desde hace unos 4.600 millones de años, y durante las nueve décimas partes de su existencia fue estéril y sin vida.

Esto no quiere decir que no hubiese vida alguna sobre la Tierra. Formas sencillas de vida, muy parecidas a las pequeñas células bacterianas que florecen hoy en día, existieron durante los mil millones de años de la formación de la Tierra, pero existieron en el mar. Durante 3.000 millones de años después, la vida siguió existiendo sólo en las aguas de la Tierra, en ríos, charcas, lagos y mares. La Tierra permaneció intacta.

Esto no es de extrañar porque comparada con el océano y con el agua dulce de la Tierra, la tierra seca es un medio hostil a la vida.

En el mar las temperaturas son uniformes y varían sólo ligeramente de día y de noche, en verano y en invierno. En tierra las temperaturas varían mucho; a veces son mucho más altas que la del mar, y a veces mucho más bajas.

El agua, totalmente esencial para todas las formas de vida, siempre está presente en el mar, y la vida marina no corre peligro de secarse, En tierra el agua no es tan fácilmente alcanzable, y los seres vivos están en constante peligro de secarse. (En ocasiones, incluso los seres humanos mueren de sed.)

La flotación en el agua anula buena parte del efecto de la gravedad, de manera que los peces pueden nadar fácilmente en tres direcciones. No importa lo grandes que sean los animales. Ballenas de cien toneladas se mueven en ella sin dificultad. En la tierra no hay flotación y la vida siente todo el efecto de la gravedad. Algunas formas pequeñas han desarrollado alas y pueden volar de un lado a otro en el aire (a costa de un gran gasto de energía), pero la mayor parte de los seres vivos en tierra sólo pueden moverse en una superficie bidimensional. Si los animales terrestres tienen que moverse rápidamente, han de tener patas fuertes en las que apoyarse. Aún así, en su conjunto los animales terrestres son más pequeños que los marinos.

Por último, las capas superiores del mar filtran la radiación peligrosa. En tierra, los rayos directos del Sol contienen alguna luz ultravioleta dañina que atraviesa la capa de ozono.

Se necesitó mucho tiempo para que algunas formas de vida en el mar desarrollasen características que hiciesen posible su supervivencia en tierra. Algunos peces, de aletas carnosas, podían recorrer trechos de tierra para ir de una charca donde escaseaba el agua a otra más grande. Tenían pulmones primitivos con los que podían absorber aire. Lentamente les crecieron patas y estos peces se convirtieron en los primeros anfibios. (Los descendientes actuales de estos anfibios son las ranas y los sapos.)

Esto ocurrió hace unos 350 millones de años, y los vertebrados (incluidos los seres humanos) descienden de aquellos anfibios primitivos y viven desde entonces en tierra. Los anfibios tenían esqueletos óseos, y gracias a la fuerza que esto daba a su estructura pudieron hacerse grandes. Fueron los primeros animales grandes que aparecieron en tierra. Algunos lo eran tanto como los actuales cocodrilos.

Los anfibios dejaron restos fósiles que los científicos pueden estudiar pero no pudieron ser los primeros animales que conquistaron la tierra. Antes que ellos llegaron animales más pequeños y sin huesos: arañas, caracoles, insectos, etc. Es mucho más difícil descubrir huellas de estos pequeños animales.

Y antes de que los animales pudiesen conquistar la tierra tenía que haber comida allí para ellos. Por consiguiente, las plantas simples tenían que haber llegado a tierra antes

que los animales. Hasta hace muy poco, se creía que la vida vegetal había empezado en la tierra hace unos 400 millones de años.

Pero a principios de 1987, dos geólogos de la Universidad de Oregon aportaron pruebas para demostrar que la vida simple en tierra tenía una antigüedad mayor de lo que se suponía. Cavaron y descubrieron capas rocosas, en Pennsylvania central, que según resultaba de ciertas sutiles propiedades, habían sido suelo hace muchísimo tiempo, tal vez 450 millones de años atrás.

En aquel suelo había unos huecos que no parecían naturales. El aumento de densidad hacia la parte alta y una incrustación de ciertas sustancias químicas en las paredes, indicaban que habían sido hechos por animales cavadores.

De la naturaleza de las madrigueras se pueden deducir algunas características de los animales que las hicieron. Tuvieron que ser animales de larga historia sobre la Tierra, de una clase que horadaba el subsuelo, con cierta forma, ciertas reglas de crecimiento, etcétera. Probablemente fueron formas de vida que se extinguieron hace mucho tiempo, pero los indicios parecen señalar un parentesco con los milpiés modernos («milpiés», aunque en realidad son menos).

Y como los milpiés no podían existir sin comida, tenía que haber ya en la tierra alguna forma simple de vida vegetal, parecida al musgo, antes de la llegada de aquellos. Esto quiere decir que es posible que tengamos que remontarnos a otros 50 millones de años para fijar el tiempo de la conquista de la tierra. Cuando llegaron nuestros antepasados, los anfibios, los milpiés ya debían de estar allí desde hacía 100 millones de años.

Pero incluso con esta antigüedad, sólo ha habido vida en la Tierra durante el último 10 por ciento del tiempo de existencia del planeta.

LA APARICIÓN DE LAS PLANTAS VERDES

Dos grupos de científicos están ahora enzarzados en una controversia sobre los detalles de la evolución de las plantas verdes.

Esta es una cuestión importante porque las plantas verdes emplean la energía de la luz solar para convertir sustancias sencillas —dióxido de carbono, agua y minerales— en las complejas sustancias que constituyen el tejido de la planta. Todos los animales (incluidos nosotros) dependen directa o indirectamente para sobrevivir del tejido de las plantas. Los animales comen plantas o comen otros animales que las comen.

Además, al formar sus tejidos con sustancias sencillas, las plantas verdes desprenden oxígeno. Así se formó y se mantiene el contenido en oxígeno de nuestra atmósfera. Y este oxígeno es lo que respiran todos los animales (incluidos nosotros) para conservar la vida.

Y como la comida y el oxígeno son regalos de las plantas al mundo, animal (incluidos nosotros), todo lo que conduzca a explicar cómo vinieron al mundo nos interesa profundamente.

Todas las plantas verdes, y también todos los animales, están constituidos por unidades microscópicas llamadas «células». Las células, aunque muy pequeñas, tienen una estructura compleja y están hechas de estructuras todavía más pequeñas llamadas «orgánulos».

Por ejemplo, todas las células tienen un «núcleo» que contiene los materiales de la herencia que hace que las células se multipliquen y conserven sus características; tienen «mitocondrias» donde las moléculas alimenticias se combinan con oxígeno para formar energía; tienen «ribosomas», donde se forman las moléculas proteínicas especiales de cada célula; etcétera.

Las células de las plantas verdes tienen un orgánulo del que carecen las células de los animales. Las células de las plantas verdes tienen «cloroplastos», que poseen la capacidad de emplear la energía de la luz del Sol para formar el alimento y el oxígeno que mantienen vivo al mundo animal. Las células de los animales no los tienen.

¿Cómo evolucionaron estas pequeñas y complicadas células que constituyen las plantas y los animales? ¿Cuándo se formaron por primera vez?

Los científicos que estudian los fósiles y examinan el oscuro pasado de las formas de vida, consideran que las primeras células del tipo complicado que constituyen las plantas y los animales se formaron hace aproximadamente 1.400 millones de años. Pero entonces el planeta Tierra llevaba ya 3.200 millones de años de existencia, por lo que hubo un largo período durante el cual aquellas primeras células pudieron evolucionar.

Es posible que antes de evolucionar aquellas primeras células hubiesen existido otras más pequeñas y más primitivas como únicas formas de vida, durante un período de unos 2.000 millones de años. Estas pequeñas y primitivas células todavía existen hoy en forma de bacterias. Las bacterias son tan pequeñas que pueden caber mil de ellas dentro de una célula típica de planta o de animal.

Las células bacterianas no tienen la rica colección de orgánulos que poseen las de las plantas y los animales, y aparecen en variedades diferentes. Algunos científicos creen que hace aproximadamente 1.400 millones de años se combinaron diferentes tipos de células bacterianas para formar las más complicadas que constituyen las plantas y los animales. Los núcleos se originaron como células bacterianas que se especializaron en el control hereditario. Las mitocondrias fueron al principio células bacterianas que se especializaron en la formación de energía; los ribosomas fueron células bacterianas que se especializaron en la producción de proteínas; etc.

Los cloroplastos, en particular, fueron un tiempo células bacterianas que se especializaron en el uso de la luz del Sol para obtener energía. Estos organismos existen todavía y reciben el nombre de «cianobacterias».

Pero las cianobacterias y los cloroplastos son diferentes en un aspecto. Los cloroplastos de las plantas verdes contienen dos sustancias clave muy similares, que son esenciales para atrapar la luz del Sol. Son la «clorofila a» y la «clorofila b». En cambio, las cianobacterias contienen sólo clorofila a. Tal vez después de formarse las células cloroplásticas evolucionasen en el sentido de crear clorofila b como segundo componente.

Sin embargo, en 1985 se localizó una variedad de cianobacteria llamada *Prochlorothrix,* en charcas de los Países Bajos que contenía clorofila a y clorofila b. Se creyó posible que esta variedad descendiera de la cianobacteria original que se convirtió en los cloroplastos encontrados en las células de las plantas verdes.

Para comprobar esto era necesario estudiar la fina estructura molecular tanto en *Prochlorothrix* como en los cloroplastos y comprobar su similitud.

Clifford W. Morden y Susan S. Golden, de la A & M University, de Texas, estudiaron una proteína clave que existe tanto en *Prochlorothrix* como en los cloroplastos. Descubrieron que las proteínas de ambos tenía similitudes importantes y que este rasgo distingue estos dos tipos de células de las demás cianobacterias. Lo cual parece indicar que *Prochlorothrix* y los cloroplastos tienen un antepasado común.

Sin embargo, Sean Turner y otros científicos de la Universidad de Indiana, al estudiar los ácidos nucleicos de *Prochlorothrix y* los cloroplastos encontraron diferencias que hacen suponer que ambos tipos no son parientes próximos.

Evidentemente, habrá que trabajar más sobre este particular.

Pero la técnica empleada en estos análisis moleculares tal vez podrá ser utilizada no sólo para resolver este problema concreto sino también para descubrir el desarrollo evolucionista de las células en general.

DINOSAURIOS EN TODAS PARTES

Las ciencias están estrechamente relacionadas entre sí. Un descubrimiento en un terreno científico proyecta luz en otros terrenos.

Así por ejemplo, el Instituto Antártico de Argentina descubrió en noviembre de 1986 huesos fosilizados en la isla de James Ross, un pedazo de tierra frente a la costa de la Antártida donde más se acerca aquel continente helado a la punta meridional de América del Sur. Los huesos pertenecían sin duda alguna a un dinosaurio ornitísquido.

Restos fosilizados de dinosaurios ya habían sido encontrados en todos los continentes de la Tierra. La presencia de estos antiguos reptiles en la Antártida hace de los dinosaurios un fenómeno realmente mundial.

Pero el descubrimiento es menos importante en relación con los dinosaurios que en relación con la Antártida. ¿Cómo podía vivir un dinosaurio en las regiones antárticas? Los dinosaurios no estaban bien adaptados para un frío extremo. Aunque lo cierto es que en 1968 se descubrieron restos fosilizados de anfibios antiguos en la Antártida. Y los anfibios (de los que las ranas y los sapos son los ejemplares modernos más conocidos) incluso están peor adaptados al clima antártico.

Además no es probable que los dinosaurios evolucionasen independientemente en cada continente. Si evolucionaron en uno de ellos para empezar, ¿cómo consiguieron cruzar el océano para ir a otros continentes?

La respuesta es que no fueron los dinosaurios sino los continentes los que se trasladaron. Hace unos treinta años se descubrió que la corteza terrestre la formaban grandes placas que estaban juntas, pero que se movieron muy lentamente.

Algunas se separaron; otras chocaron entre sí; una pudo introducirse lentamente debajo de otra. El estudio de estas placas tectónicas aclaró de pronto muchas cosas de la geología —volcanes, terremotos, cadenas de islas, profundidades oceánicas, etc.— que hasta entonces habían sido un misterio.

Podríamos decir que las placas llevaban sobre la espalda los diversos continentes. Al moverse por la razón que fuera, los continentes se movieron con ellas. De vez en cuando las placas juntarían todos los continentes, de manera que la Tierra consistiría en una gran masa de tierra llamada Pangea («toda tierra», en griego). Y al seguir moviéndose las placas, separarían de nuevo los continentes.

Probablemente Pangea se formó y rompió varias veces en el curso de la historia de la Tierra, de más de 4.000 millones de años. Hace unos 225 millones de años que Pangea existió intacta por última vez. Había estado intacta durante millones de años, pero entonces empezó a dar señales de romperse.

En aquellos tiempos, los primeros dinosaurios habían evolucionado y habían tenido tiempo de extenderse por toda Pangea. Al parecer, toda la masa de tierra se hallaba en las zonas tropicales y templadas, de manera que los dinosaurios podían vivir con bastante comodidad en las diversas partes de ella.

Pero, hace unos 200 millones de años, Pangea se dividió en cuatro partes. La porción norte era lo que ahora son América del Norte, Europa y Asia. Hacia el sur había una porción constituida por lo que ahora son América del Sur y África. Y más al sur estaban las actuales Antártida, Australia y un pequeño trozo de lo que ahora es la India.

Con el paso del tiempo, América del Norte se separó de Europa y de Asia, y América del Sur se separó de África. (Si miran ustedes un mapa, comprobarán lo bien que se

acoplarían América del Sur y África si se pusiesen juntas.) La India se movió hacia el norte, y hace unos 50 millones de años que chocó con Asia y formó la gran cordillera del Himalaya, donde las dos grandes masas de tierra se juntaron y se arrugaron poco a poco. La Antártida y Australia también se separaron.

Cada continente, al separarse de los otros, llevó consigo su carga de dinosaurios. Hace 65 millones de años, cuando se extinguieron todos los dinosaurios, los continentes estaban ya muy separados y cada uno de ellos tenía su carga de dinosaurios fósiles.

La Antártida también tenía sus dinosaurios, así como anfibios y todos los animales y las plantas que vivieron durante el período de aquellos. Pero su destino fue más trágico que el de los otros continentes porque su placa le llevó hacia el sur, hacia el polo. Poco a poco, en un período de 100 millones de años, experimentó un lento enfriamiento. La vida vegetal se fue haciendo cada vez más escasa y se redujo la vida animal.

Aumentaron las nevadas, los veranos se hicieron más cortos y más fríos, y por fin llegó el hielo.

La Antártida, casi centrada sobre el Polo Sur, es actualmente la nevera del mundo. Las nueve décimas partes de todo el hielo de la Tierra se encuentran en el casquete antártico. Y la capa de hielo, de varios kilómetros de grueso, cubre el rico depósito de fósiles que encontraríamos si se descubriese el suelo de la Antártida.

El descubrimiento del fósil de dinosaurio en la Antártida es por tanto una prueba muy elocuente de los lentos e inexorables movimientos geológicos de la corteza terrestre.

ARENA APRETADA

Durante nueve años, los científicos han estado buscando una nueva explicación a la desaparición de los dinosaurios hace 65 millones de años. Pero tal vez al fin se haya resuelto esta incógnita.

En 1980 se dio a conocer que en una capa de sedimentos de 65 millones de años de antigüedad había una desacostumbrada concentración del raro metal iridio. Algunos sugirieron que se podía deber a una colisión o al impacto contra la Tierra de un asteroide o de un cometa de considerable tamaño. El impacto habría perforado la corteza, provocando erupciones de volcanes y grandes incendios y maremotos, y enviado tanto polvo a la estratosfera que habría tapado la luz del Sol durante mucho tiempo. Esto habría significado la muerte de muchos seres de 1a Tierra, incluidos todos los dinosaurios.

Es indiscutible que hace 65 millones de años se produjo una gran catástrofe y hubo una gran mortandad, pero no todos los científicos están dispuestos a aceptar que fue como resultado de un gran impacto. Por ejemplo, en 1987 se dijo que si la Tierra pasó de pronto por un período de fuerte vulcanismo, con muchas erupciones más o menos simultáneas esto habría sido suficiente para provocar una catástrofe capaz de causar extinciones masivas.

Así pues, la cuestión ha quedado reducida a dos teorías en competencia: «impacto contra vulcanismo».

La cuestión no es sólo teórica porque algún día podríamos enfrentarnos con una de esas catástrofes (aunque en el caso de que se tratara de objetos chocando contra la Tierra, tal vez llegaremos a saber la manera de evitar el impacto). Necesitamos tener la máxima información posible sobre los efectos de estos acontecimientos para preparar algún plan de emergencia en el caso de que tuviésemos que sufrirlos en el futuro.

Así pues, los científicos se han afanado en buscar pruebas en apoyo de ambas teorías.

En 1961, un científico soviético, S. M. Stishov, descubrió que si se somete a fuerte presión el dióxido de silicio (arena muy pura) sus átomos se ven obligados a apretarse

más y aquél se hace muy denso. Un centímetro cúbico de esta arena apretada pesaba bastante más que un centímetro cúbico de arena ordinaria. Desde entonces, esta arena apretada ha sido llamada «stishovita».

La stishovita no es realmente estable. Los átomos están demasiado juntos y tienden a separarse y a convertirse de nuevo en arena ordinaria, pero están sujetos con tal fuerza que el cambio se produce con suma lentitud, de manera que la stishovita puede permanecer en su estado durante millones de años.

Lo mismo ocurre con los diamantes. Los átomos de carbono están extraordinariamente apretados y tienden a separarse y a convertirse en carbón ordinario, pero esto también requiere millones de años en condiciones ordinarias.

No obstante se puede acelerar el cambio si se eleva lo eficiente la temperatura. Esto añade energía a los átomos y les permite separarse de sus vecinos y recobrar su configuración acostumbrada. Así, si se calienta stishovita a 850 °C (1.560 F) durante treinta minutos, se convierte en arena ordinaria. (También se puede conseguir carbón del diamante calentándolo en ausencia de aire, aunque no creo que nadie esté interesado en hacerlo.)

La stishovita es un producto de laboratorio. También puede encontrarse en la naturaleza aunque sólo donde se ha ejercido una gran presión sobre el suelo.

Se ha encontrado por ejemplo en lugares donde hay señales de que un meteorito de gran tamaño chocó un día contra el suelo. La gran presión del impacto formó la stishovita. También se ha encontrado en sitios donde han tenido lugar explosiones nucleares experimentales. En este caso la formó la enorme presión de la bola de fuego en expansión.

Parece seguro que también debe haber stishovita a gran profundidad bajo la corteza terrestre, donde las presiones son sumamente altas. En este caso podría ser traída a la superficie por las erupciones volcánicas. Sin embargo estas erupciones tienen un calor extraordinario que licua la roca. Si emergiese stishovita de un volcán, quedaría convertida en dióxido de silicio ordinario. Y de hecho nunca se ha detectado stishovita en lugares de actividad volcánica.

Puede decirse, por tanto, que la presencia de stishovita indica que se produjo un gran impacto, y que no es necesario que tuviera lugar ninguna acción volcánica.

Ahora bien, John F. McHone y varios colaboradores en la Universidad del Estado de Arizona estudiaron capas rocosas en Ratón, Nuevo México; unas capas que tenían 65 millones de años de antigüedad y que se remontaban por tanto al tiempo en que desaparecieron los dinosaurios.

Emplearon las técnicas modernas para determinar la disposición atómica en materiales sólidos —resonancia magnética nuclear, así como difracción de los rayos X—, y el 1 de marzo de 1989 informaron que habían detectado definitivamente la clase de disposición atómica encontrada en la stishovita.

Esto parece demostrar que se produjo un gran impacto, hace 65 millones de años, que formó toneladas de stishovita, la cual fue lanzada a la estratosfera antes de posarse de nuevo en la Tierra. Por tanto, no fue la acción volcánica lo que mató a los dinosaurios; tuvo que ser el impacto.

MUERTE DE LOS DINOSAURIOS; UNA NUEVA PISTA

Hace una década surgió la teoría de que los dinosaurios (y algunas otras especies vivas) resultaron muertos, hace 65 millones de años, por la colisión de un meteorito bastante grande o de un cometa con la Tierra. Otros científicos sostienen que grandes erupciones volcánicas y otras anomalías climáticas acabaron con los dinosaurios. Pero

los partidarios del impacto parece que están en lo cierto pues ahora se ha encontrado una nueva prueba que avala su teoría.

Jeffrey L. Bada, de la Scripps Institution of Oceanography, de La Jolla, California, ha descubierto aminoácidos en sedimentos depositados hace 65 millones de años.

Los aminoácidos son los constitutivos de las proteínas.

Cada molécula de proteína está hecha con una o más cadenas de aminoácidos, desde una docena hasta varios centenares. En general los aminoácidos de la Tierra sólo son producidos por tejidos vivos.

En tal caso no tendría nada de extraordinario encontrar aminoácidos en materiales que fueron depositados hace 65 millones de años. A fin de cuentas entonces había mucha vida, y todas las formas de vida formaban aminoácidos. ¿Por qué no habíamos de encontrarlos?

Bueno, en primer lugar es teóricamente posible un número incalculable de aminoácidos, pero las proteínas formadas por organismos vivos sólo emplean veinte clases diferentes de aquellos. Más aún, todas las formas de vida, sean virus, robles, estrellas de mar, serpientes o seres humanos, forman y emplean los mismos veinte aminoácidos, con muy raras excepciones. Nadie sabe por qué los organismos vivos emplean estas veinte clases, y qué tienen de malo todas las demás para no ser utilizadas.

Sin embargo los aminoácidos encontrados por Bada en las antiguas rocas, en junio de 1989, son de dos tipos: isovalina y ácido alfa-aminoisobutírico. Estos no se encuentran en las proteínas y, que nosotros sepamos, generalmente no los forman seres vivos. Una clase rara de hongos forma alguna isovalina, pero esto es muy excepcional.

¿Hay otros sitios donde puedan encontrarse aminoácidos?

Pues sí. Hay ciertos meteoritos llamados «condritas carbonosas» que contienen pequeñas cantidades de agua y de compuestos de carbono. Entre los compuestos de carbono hay algunos aminoácidos. Y de hecho entre los aminoácidos encontrados en meteoritos ocasionales están la isovalina y el ácido alfa-aminoisobutírico. Es posible por tanto que los aminoácidos sean resultado de un gran impacto de un meteorito o de un cometa que los contuviese y los desparramase sobre la faz de la Tierra.

¿Podemos estar seguros? Después de todo aquellos raros hongos forman isovalina. Tal vez hace 65 millones de años algunos animales que después se extinguieron produjeron grandes cantidades de unos aminoácidos que ahora son raros pero que entonces no lo eran.

Pero podemos estar seguros de que no fue así. Los aminoácidos, como otras muchas sustancias importantes para la vida, tienen moléculas asimétricas y pueden existir en dos formas, izquierda o derecha (igual que los guantes y los zapatos). Ocurre que las enzimas de los seres vivientes hacen aminoácidos que son todos de forma izquierda. Las formas izquierdas encajan fácilmente entre ellas para hacer cadenas útiles para la formación de moléculas de proteínas. Las formas izquierda y derecha, mezcladas, no darían resultado. Desde luego una cadena constituida sólo por formas derechas también funcionaría; pero cuando empezó la vida, hace 3.500 millones de años, las formas izquierdas fueron inicialmente empleadas gracias a algún proceso casual, y desde entonces los aminoácidos son de forma izquierda. Incluso los raros hongos que producen isovalina contienen sólo isovalina de forma izquierda.

Sin embargo, si los aminoácidos se forman por procedimientos artificiales o casuales, como cuando se producen en los tubos de ensayo de los químicos por reacciones químicas ordinarias, ambas formas, izquierda y derecha, aparecen en iguales cantidades. Ninguna aventaja a la otra. Los aminoácidos encontrados en los meteoritos están presentes como formas izquierdas y formas derechas en iguales cantidades, y esto nos

indica que fueron producidos por reacciones químicas en las que no intervinieron las enzimas de organismos vivos.

Los aminoácidos encontrados en los sedimentos de 65 millones de años de antigüedad presentan también formas derechas e izquierdas en cantidades iguales; esto es una sólida señal de que no fueron formados por seres vivos en la superficie de la Tierra, sino por procesos no de vida en un meteorito o un cometa.

Este descubrimiento plantea desde luego algunas cuestiones. ¿Cómo es posible que los aminoácidos no fuesen destruidos por el calor del impacto? La respuesta no es fácil. Los aminoácidos no son moléculas muy resistentes y normalmente no pueden soportar tanto calor. Tal vez existían en el interior de grandes pedazos del objeto que chocó, y fueron protegidos del calor.

Más desconcertante aún es el hecho de que estos aminoácidos de fuera de este mundo no se encuentren exactamente en la línea de sedimento que marca el tiempo de 65 millones de años en el pasado, sino a distancias por encima o por debajo de aquella línea. Tal vez estuvieron en principio en la capa sedimentaria adecuada, pero en todos estos millones de años se movieron arriba o abajo a través de las rocas. Esto no parece convincente, pero Bada está investigando rocas en otras zonas y tal vez los próximos datos nos den alguna explicación.

UN FÓSIL. ¿REALIDAD O FICCIÓN?

¿Podría ser que el fósil más importante que se ha encontrado jamás fuera falso? Unos cuantos científicos sostienen que lo es, y esto ha creado una gran conmoción.

El fósil en cuestión fue descubierto en 1868, y se calcula que tiene unos 140 millones de años de antigüedad. Es una clara huella, en una roca, de un animal de unos noventa centímetros de largo y muy parecido a un lagarto. Tiene dientes y no tiene pico, cuello largo, cola larga y esternón plano; todo como los lagartos.

¿Por qué no deducir de todo esto que el animal en cuestión es un reptil sumamente antiguo, antepasado de los lagartos de hoy en día?

Podríamos decir que fue así, de no ser por una diferencia importantísima. El llamado lagarto tenía plumas. La huella de estas plumas es inconfundible. Las tenía en una doble hilera a lo largo de la cola y también están presentes en las patas de delante.

En el mundo actual, todas las aves conocidas tienen plumas y todos los seres vivos que no son aves no las tienen. Por consiguiente se cree que este fósil es el resto de un ave muy antigua y primitiva. Fue llamado «archaeopteryx» de unas palabras griegas que significan «ala antigua».

El archaeopteryx es el ejemplar más conocido de fósil de una forma de vida que parece estar exactamente entre dos grandes grupos de animales que distinguimos actualmente. Es medio reptil y medio ave, y por consiguiente un ejemplar perfecto de reptil en evolución para convertirse en pájaro.

Es un pájaro tan primitivo que en el mejor de los casos sólo habría podido planear. Parece imposible que pudiese hacer algo más que ese débil vuelo. Naturalmente, uno podría preguntarse para qué servían las plumas si cuando aparecieron no hacían posible el vuelo. Desde luego parece insensato pensar que unas plumas primitivas inútiles evolucionarían simplemente porque algún día podrían ser útiles.

La respuesta de los evolucionistas es que aunque sólo ayudasen al ave a planear, esto por sí solo habría sido útil, y que la situación mejoraría lentamente hasta ser posible el pleno vuelo. Las plumas pudieron no haber evolucionado para empezar a volar sino como una especie de red con la que atrapar insectos. Su uso para el vuelo y como aislantes se desarrollaría más tarde, como una característica secundaria.

Sin embargo el astrónomo inglés Fred Hoyle, junto con dos colaboradores, sostuvo en 1985 que el archaeopteryx era simplemente un lagarto primitivo, y que cuando se descubrió el fósil se colocó una capa de cemento sobre él, apretando sobre ella plumas modernas para dar la impresión de un lagarto-pájaro.

Posiblemente esto lo hizo alguien con la sola intención de gastar una broma a los científicos. (Bromas parecidas se han realizado antes o después.) O tal vez algún evolucionista entusiasta quiso presentar pruebas en favor de la evolución y no reparó en falsificar alguna por lo que consideraba una buena causa.

Pero aún en el caso de que el archaeopteryx fuese una ficción, esto no invalidaría la evolución biológica. La verdad de la evolución no viene confirmada por un fósil individual sino por el gran número de ellos y por muchas otras cosas.

Aunque los fósiles no existiesen, hay bastantes pruebas físicas, fisiológicas, bioquímicas y anatómicas para convencer a los científicos de que la evolución es ciertamente un hecho.

Sin embargo no se puede negar que los fósiles brindan el testimonio más elocuente sobre la evolución y que el archaeopteryx es la prueba individual más preciosa.

En general los científicos han reaccionado con desdén e indignación a la afirmación de Hoyle, que hasta ahora no ha podido convencerles. (Hoyle formuló también otras teorías nada populares, como la de que el universo existe gracias a una creación continua y no a través del big bang y de las simples formas de vida que se forman realmente en las nubes cósmicas y en los cometas. Por consiguiente, muchos le consideran una especie de inconformista al que no hay que tomar en serio.)

El Museo de Historia Natural de Londres, donde se encuentra el archaeopteryx fósil, está convencido de su autenticidad y señala la existencia de pequeñas e incluso microscópicas correspondencias que parecen confirmar que los huesos y las plumas se imprimieron sobre la roca al mismo tiempo.

Hoyle pretende ahora tomar una pizca de piedra del fósil y someterla a pruebas, pero el Museo no lo permite e insiste en que las pruebas propuestas por Hoyle no demostrarían absolutamente nada.

Personalmente, a mí no me impresionan las singulares afirmaciones de Hoyle. En primer lugar, dudo que un bromista del siglo XIX pudiese hacer tan bien las impresiones de las plumas que engañasen a los paleontólogos modernos (incluso la famosa broma de Pultdown sólo les engañó temporalmente). Y lo que me parece mucho más importante, al menos se han encontrado otros dos fósiles de archaeopteryx que también tienen plumas dispuestas como en el primero.

¿Tres bromas idénticas? Esto es más inverosímil que un reptil con plumas.

MÁS PRUEBAS DE VOLADORES CON PLUMAS

Los fósiles más valiosos son los que representan formas intermedias entre dos grupos bien establecidos de organismos. Tales fósiles tienden a mostrar el curso de la evolución.

Un afloramiento de piedra caliza en Cuenca, España, reveló lo que parece ser otro ejemplar a primeros de 1988. Es de un pájaro que podría tener 125 millones de años de antigüedad.

Para muchas personas, una de las principales dificultades de la teoría evolucionista es la cuestión de cómo puede evolucionar una criatura compleja. Las aves, por ejemplo, tienen plumas, pico, músculos especiales para mover las alas, huesos ligeros y huecos, y otras muchas características, todas ellas esenciales para volar y para ser un pájaro.

¿Cómo podía todo esto desarrollarse de manera que produjese un ave, que es un organismo en pleno funcionamiento?

¿Podemos esperar que un pájaro empiece a desarrollar un ala rudimentaria que no le sirve para volar? ¿Por qué habría de desarrollarse un «ala parcial»? Y si tratamos de imaginarnos un ave, con todo el equipo para volar, derivada de un lagarto que no puede volar, ¿cómo pudo producirse de repente todo aquel desarrollo?

La respuesta podría ser que aquel desarrollo se hizo por partes, pero que el valor de cada desarrollo al empezar no es necesariamente el mismo que cuando está plenamente terminado.

Consideremos por ejemplo el archaeopteryx, que es el primer organismo vivo que conocemos al que podemos dar el nombre de ave, y que apareció hace unos 150 millones de años. La única razón de que se le considere ave es que tenía plumas, las cuales actualmente sólo las tienen las aves.

Pero aparte de las plumas, es un lagarto. Tiene cabeza de lagarto, con dientes en las mandíbulas, una cola larga, etc. Las plumas bordean las partes de delante y la cola, pero es muy dudoso que el archaeopteryx pudiese volar, en el sentido moderno. Los pájaros de hoy en día tienen todos ellos una quilla en el esternón, a la que se sujetan poderosos músculos para volar; pero el archaeopteryx sólo tenía una quilla pequeña.

En este caso, ¿por qué tenía el archaeopteryx que desarrollar plumas? Una posibilidad es que éstas fuesen una trampa para cazar insectos. El archaeopteryx podía correr sobre las patas traseras (como hacen actualmente algunos lagartos) y extender las de delante para atrapar insectos. Las plumas aumentarían el alcance de las patas de delante y envolverían a los insectos.

Pero las plumas le servirían también de paracaídas. Si el archaeopteryx saltaba, se mantendría un poco más en el aire, porque las plumas ofrecerían más superficie. Si trepaba a un árbol y saltaba, las plumas le permitirían alcanzar una distancia mayor. Esto podía serle muy útil pues cuanto más alto y más largo fuese el salto, más probabilidades tendría de escapar de un predador que tratase de comérselo.

Podría ser muy bien que esta capacidad de saltar más alto y más lejos fuese tan útil que cualquier cambio casual, que la aumentase, incrementaría también las probabilidades de supervivencia del archaeopteryx y le permitiría tener más prole que heredase la característica.

Poco a poco mejoraría el vuelo y se desarrollarían también otras características: una quilla un poco mejor a la que pudiesen sujetarse músculos más vigorosos; unos huesos algo más ligeros; un cuerpo más compacto; una cola más corta, etc.

Esta opinión parece confirmada por el descubrimiento en España de restos óseos de otra criatura con plumas. Tiene tal vez 25 millones de años menos que el archaeopteryx, de modo que hubo tiempo sobrado de desarrollar rasgos adicionales de ave.

Este nuevo resto fosilizado es de un organismo más pequeño que el archaeopteryx. Si éste tenía el tamaño de un cuervo, el nuevo fósil tenía el de un petirrojo. (Cuanto más pequeño es un organismo, más fácil le resulta volar.)

El nuevo fósil no se ha diferenciado enteramente de sus antepasados lagartos. Las patas de atrás y el hueso de la pelvis son muy primitivos y más parecidos a los del lagarto que a los de los modernos pájaros.

Sin embargo, el fósil tiene en el hombro un hueso llamado «coracoides». En los pájaros modernos, este hueso ayuda a convertir el tirón de un músculo en un poderoso golpe de ala.

La mera presencia de este coracoides es una buena prueba de que el fósil es de un ave capaz de volar.

Más aún, al final de su columna vertebral hay un hueso llamado «pigóstilo», que las aves modernas tienen en la base de la cola. Esto significa que el fósil tenía una cola de ave en vez de una cola de lagarto. La cola del ave tiene plumas que sirven de freno cuando va a aterrizar; una prueba más de que el pájaro fósil podía volar.

Desgraciadamente no se encontró el cráneo, por lo que no podemos saber si se parecía al de las aves modernas, ni qué clase de pico podía tener, si es que lo tenía. Es posible sin embargo que ulteriores excavaciones revelen fósiles similares que puedan contestar a más preguntas. Por ahora hemos descubierto el primer pájaro que era capaz de volar realmente y a través de él hemos aprendido más sobre el desarrollo de las aves.

EL VOLADOR MÁS GRANDE

Hace unos 65 millones de años se extinguieron súbitamente los pterosaurios, entre los que se hallaban los animales voladores más grandes. Su desaparición dejó algunas preguntas en el aire, entre ellas una de las más desconcertantes:

¿Cómo podían volar aquellos reptiles alados, algunos de los cuales tenían unas dimensiones semejantes a los de un aeroplano bastante grande? Los científicos están perplejos, pero se han formulado algunas teorías fascinantes.

Los reptiles voladores llamados «pterosaurios» (del griego «lagartos con alas») evolucionaron hace 200 millones de años.

Aunque algunos de ellos no eran más grandes que los gorriones, otros eran los animales voladores más grandes que han existido. Hace unos 70 millones de años, el «pteranodón» (del griego, «sin dientes alado») tenía una envergadura de unos ocho metros, casi tres veces la de un albatros. Seguramente casi todo él era alas, y tal vez no pesaba más de dieciocho kilos.

Pero en 1971 se descubrieron en Texas restos de un pterosaurio que debió tener una envergadura de quince metros.

Seguramente fue el animal volador más pesado que haya existido jamás. Estudiando éstos y otros restos, incluidos huesos fosilizados de la cadera recientemente descubiertos en Europa, los científicos tratan de resolver el enigma.

Aparte de los restos fosilizados de pterosaurios, las únicas pistas que tenemos para saber cómo volaban aquellas enormes criaturas se desprenden del examen de los otros tres grupos de animales voladores que todavía existen.

Volar es un trabajo difícil y requiere una energía concentrada para batir las alas contra el aire, elevarse y permanecer suspendido en un medio tan tenue. Actualmente, las únicas especies voladoras que tienen la sangre fría como los reptiles son los insectos. Y como son de sangre fría, producen energía a niveles relativamente bajos. Pueden volar porque son pequeños, tan pequeños que la atracción gravitatoria que ejerce la Tierra sobre ellos es débil e incluso el aire tenue puede compensar en parte aquella atracción. El insecto más grande es el escarabajo Goliat, que no llega a pesar cien gramos.

Los otros dos grupos, el de las aves y el de los murciélagos, son de sangre caliente y por tanto pueden poner más energía en el trabajo de volar. La sangre caliente tiene que estar aislada ya que no se puede perder mucha energía, producida con tanta dificultad con la irradiación calórica. Por eso tienen plumas las aves, como método particularmente eficaz de reducir la pérdida de calor. Los murciélagos tienen un revestimiento de pelo un poco menos eficaz.

Los murciélagos y las aves pueden volar gracias a su gran producción de energía, aunque son mucho más grandes que los insectos; pero aún así no lo son tanto como los animales no voladores.

El murciélago más grande es un comedor de frutos de Indonesia. Puede tener hasta cuarenta centímetros de largo y una envergadura de más de un metro y medio. Pero las alas membranosas representan la mayor parte de su cuerpo, y su peso total no alcanza el kilo: ocho veces más que el insecto más grande.

El ave más pesada capaz de volar, la avutarda kori de África oriental y meridional, puede pesar hasta dieciocho kilos, casi veinte veces más que el murciélago más grande.

Pero con este peso a duras penas puede volar. Algunos albatros, que no son tan pesados, tienen la mayor envergadura: hasta tres metros.

Los pterosaurios tenían alas membranosas como los murciélagos, pero así como en el murciélago se extiende la membrana sobre todos los dedos salvo el pulgar, la del pterosaurio estaba sujeta a un cuarto dedo muy desarrollado. Los otros tres dedos eran como pequeños garfios que sobresalían del ala.

Entonces, ¿cómo podían volar?

Actualmente todos los reptiles son de sangre fría y tienden a ser lentos en comparación con las aves y los mamíferos.

Naturalmente, al principio se dio por sentado que los pterosaurios eran también de sangre fría y que por consiguiente no podían tener energía suficiente para volar con eficacia. En algunas películas se han presentado pterosaurios que subían trabajosamente a la cima de un acantilado y planeaban para capturar su presa.

Pero esto habría sido terriblemente difícil para ellos, y cada vez se tiende más a considerarlos como voladores capaces de batir las alas. Como esto requiere muchísima energía, cada vez son más los científicos que piensan que debían ser de sangre caliente, por lo que debían de estar cubiertos de pelo en vez de plumas. (Si hubiesen tenido plumas, probablemente habríamos encontrado impresiones de ellas en algún fósil de pterosaurio, cosa que nunca ha sucedido.)

Para comprender la dificultad que debió plantear el vuelo a aquellas criaturas, consideremos la exhibición, en mayo de 1986 y en la base de las Fuerzas Aéreas en Andrews, cerca de Washington D.C., de un pterosaurio parecido al descubierto en Texas. El modelo gigante de veinte kilos, con una envergadura de cinco metros y medio, fue construido en la Smithsonian Institution y su coste se elevó a 700.000 dólares.

Sólo estuvo un minuto en el aire, antes de romperse y caer al suelo ante una multitud de espectadores, el Día de las Fuerzas Armadas.

Pero aunque los pterosaurios se las ingeniasen de algún modo para volar, ¿cómo caminaban? En Alemania se encontraron dos juegos de huesos de la cadera de pterosaurio y no estaban muy estropeados. De ellos puede deducirse que los huesos de los muslos del pterosaurio estaban desviados hacia fuera.

En este caso, es probable que aquellos animales anadeasen sobre el suelo y fuesen malos andadores. Podría deducirse por lo tanto que cuando no volaban estaban suspendidos de los árboles o de las rocas.

En otras palabras, eran como murciélagos gigantes en muchos aspectos, pero su estructura ósea era la de los reptiles, y probablemente ponían huevos en vez de parir a sus crías, como hacen los murciélagos.

MONSTRUOS DEL PASADO

En noviembre de 1987 fue descubierto otro monstruo del pasado. Un cráneo y otros huesos de un ave marina, un poco parecida a los modernos pelícanos, fueron descubiertos en unas rocas de unos 30 millones de años de antigüedad durante unas

excavaciones para construir un aeropuerto en Charleston, Carolina del Sur, El animal fue llamado «pseudodontron».

Comparemos este monstruo con el ave marina actual más grande, el albatros viajero. Si el albatros tiene una envergadura de tres metros y medio, el antiguo pelícano la tenía tal vez de hasta seis. Pero incluso esta envergadura palidece en comparación con la de un buitre ahora extinguido, el ave terrestre más grande de la que tengamos noticia, que alcanzaba los siete metros y medio. Y los más grandes pterosaurios conocidos (reptiles voladores que vivieron hace 65 millones de años o más) tenían una envergadura de hasta doce metros.

Nos preguntamos cómo podían volar estas criaturas. El ave actual más pesada, la avutarda kori, pesa unos dieciocho kilos y vuela con dificultad. Los albatros, a pesar de su envergadura, son más ligeros, tal vez no pesan más de diez kilos, y les cuesta alzar el vuelo. La mayor parte del tiempo la pasan planeando en el aire, más que volando, valiéndose de las corrientes de aire ascendentes más que de los músculos de las alas.

En cambio el pelícano extinguido debió pesar hasta cuarenta kilos, y de su estructura ósea se desprende que podía mover las alas arriba y abajo pero no batirlas para impulsarse hacia delante. Indudablemente aquel pelícano sólo podía planear, pero en tal caso, ¿cómo se elevaba para hacerlo? ¿Cómo despegaba del suelo? Es un enigma. Y esto se aplica también al buitre extinguido y a los grandes pterosaurios.

Otro enigma es por qué animales que existieron en el pasado eran mucho más grandes que los que viven ahora. El primate viviente más grande es el gorila, que tiene la altura de un hombre y puede pesar hasta ciento ochenta kilos. Pero hace unos pocos millones de años hubo una especie todavía mayor, el «Gigantopithecus» («mono gigante»), que tenía casi tres metros de altura y podía pesar hasta cuatrocientos cincuenta kilos.

El mamífero terrestre más grande de los ahora existentes es el elefante africano, que mide tres metros de altura hasta la cruz y puede pesar seis toneladas. Sin embargo, hace de 20 a 40 millones de años vivió un rinoceronte gigante (sin cuernos sobre la nariz), el «Baluchitherium» («bestia de Beluchistán»), que medía hasta cinco metros y medio de altura en la cruz, como las jirafas más altas. Tenía hasta ocho metros y medio de largo desde la cabeza hasta la cola y pesaba unas veinte toneladas.

Y hace unos 150 millones de años vivió un dinosaurio gigante llamado «Brachiosaurus» («lagarto de brazos»), que fue el animal terrestre más grande que ha existido. Tenía seis metros de altura en la cruz, y un cuello tan largo que podía levantar la cabeza a doce metros del suelo, lo bastante como para mirar por la ventana del cuarto piso de una casa moderna. Podía pesar hasta ochenta toneladas, trece veces más que nuestros elefantes más grandes.

O consideremos las aves. Las más grandes de las actuales pesan demasiado para poder volar, pero se desenvuelven bien en todo lo demás. El avestruz tiene el récord de las aves hoy vivientes. Posee un cuello tan largo que la cabeza puede elevarse hasta dos metros y medio del suelo. Puede pesar hasta ciento veinte kilos y correr a velocidades de hasta sesenta y cinco kilómetros por hora.

Pero hace sólo unos pocos siglos vivía en Nueva Zelanda el moa, parecido a un avestruz gigante, con una altura de cuatro metros hasta la cabeza y un peso de más de doscientos kilos.

Tenía el récord de altura, pero no de peso. En el siglo XVII, el «pájaro elefante», o *Aepyornis,* aún vivía en Madagascar. Sólo tenía unos tres metros de altura, pero pesaba cuatrocientos cincuenta kilos. Ponía el huevo más grande que se conoce, con una capacidad de casi nueve litros, siete veces más grande que el de un avestruz.

O consideremos los insectos. Hay escarabajos de hasta dieciocho centímetros de largo, y algunos pesan hasta un kilo.

Pero hace unos 300 millones de años había libélulas con un cuerpo de más de treinta centímetros de largo y una envergadura de hasta setenta centímetros.

¿Puede decirse por tanto que está degenerando la vida? Yo no lo creo. Pienso que a la larga los seres pequeños y ágiles se desenvuelven mejor que los grandes y torpes. Además, hoy tenemos nuestras propias maravillas.

A fin de cuentas, el animal más grande de todos los tiempos vive en la actualidad. Es la ballena azul. Puede tener hasta veintisiete metros de largo y pesar hasta 130 toneladas, el doble de largo y de peso que el dinosaurio más grande de todos los tiempos.

Tampoco es probable que hubiese jamás árboles más altos que los de madera roja de hoy en día (y algunas otras especies), que alcanzan alturas de ciento veinte metros. Y también viven actualmente los árboles más pesados (y por ende la forma de vida más pesada). Son las secoyas, cuyos ejemplares más grandes pueden pesar hasta seis mil setecientas toneladas (cincuenta veces más que la ballena más grande).

Por último, también vive hoy la especie más inteligente de todos los tiempos, la única capaz de producir filosofía, ciencia, tecnología, arte, literatura; la única que enciende fuego, utiliza la electricidad y se planta en la Luna. Es el *Homo sapiens* y, en términos geológicos, no nacimos hasta ayer.

LA FORMA DE VIDA MAS AFORTUNADA

El Museo Americano de Historia Natural, de Nueva York, compró una colección de minerales a la Universidad de Columbia en 1980. Entre la colección de minerales había piezas de ámbar y, a finales de 1987, el conservador del museo, David Grimaldi estaba observando los trozos de ámbar y vio una abeja que tenía 80 millones de años de antigüedad.

Esto no debe parecer gran cosa a quienes rechazan los insectos como bichos molestos, pero lo cierto es que los insectos son las formas de vida más afortunadas de la Tierra.

Cualquier alienígena de un planeta lejano que observase la Tierra desapasionadamente diría a sus superiores que la Tierra es un mundo de insectos con algunos otros tipos de vida sin importancia.

Consideremos que se conocen casi un millón de especies diferentes de insectos. Éste es un número mucho mayor que el de todas las otras formas de vida Juntas. De hecho, casi cinco de cada seis clases de vida de la Tierra son insectos.

Más aún, esto incluye sólo las formas de vida conocidas.

Hay muchos millones de especies que aún no han sido descubiertas, descritas y denominadas —especialmente en los bosques tropicales—, y se calcula que casi todas corresponden a insectos de alguna clase. Actualmente pueden existir de dos a cinco millones de especies de insectos, y es posible que éstas representen hasta el 97 por ciento de todas las especies.

¿Por qué son los insectos tan afortunados? Son pequeños y fecundos y ponen ingentes cantidades de huevos. En media hectárea de tierra húmeda puede haber nada menos que cuatro millones de insectos.

Esto significa que los insectos son difíciles de eliminar. Si se matan noventa y nueve de cada cien, los que sobreviven pondrán huevos suficientes como para restablecer la población en un santiamén. De hecho, aunque los seres humanos han causado fácilmente la extinción de algunas formas grandes de vida, como los mamuts y los

mastodontes, y siguen poniendo en peligro muchas otras, parece que nunca han sido capaces de eliminar una sola especie de insectos. Por ejemplo, proliferan las cucarachas y los mosquitos, aunque todas las personas están contra ellos.

El gran crecimiento numérico indica que la evolución entre los insectos se desarrolla a un ritmo enorme, de manera que se están formando nuevas especies con nuevas características mucho más rápidamente que entre los otros animales que nos rodean. De vez en cuando atacamos a los insectos con insecticidas y matamos miles de millones. Pero siempre ocurre que unos pocos son resistentes a un determinado insecticida.

Sobreviven y pronto tienen millones de descendientes, todos ellos resistentes. En unos pocos años, el insecticida pierde su valor y hay que inventar otro nuevo.

A los paleontólogos les encantaría conocer los detalles del desarrollo evolucionista de los insectos, pero éstos son pequeños y dejan pocos fósiles. Las huellas más antiguas de insectos corresponden a unos artrópodos muy primitivos, «colas de muelle», que no tienen alas y sólo pueden saltar para huir cuando tienen miedo. (Todavía existen hoy en día.) Vivieron hace al menos unos 370 millones de años.

Hace unos 280 millones de años, unas libélulas gigantes evolucionaron hasta alcanzar una envergadura de setenta centímetros, y son los insectos más grandes que han existido.

Pero la historia evolucionista de los insectos está llena de lagunas. Y sin embargo hemos tenido suerte. En ocasiones quedaron insectos atrapados en la resina pegajosa de antiguos árboles de hoja perenne, hoy extinguidos. Ahora llamamos ámbar a esta resina fosilizada, y el ámbar conservó cuerpos de insectos durante millones de años Los más antiguos que se han encontrado en este medio tienen 120 millones de años.

La abeja que se halló en una pieza de ámbar de Burlington County, Nueva Jersey, no es tan antigua, pero sí dos veces más que cualquiera de los restos de abejas que se han podido encontrar. Sin embargo, después de 80 millones de años, aún puede verse claramente y con todo detalle.

Lo sorprendente es que a pesar de sus 80 millones de años de antigüedad es una abeja avanzada, no muy diferente de las que viven en la actualidad. No tiene aguijón y pertenece una familia de abejas que todavía existe en regiones tropicales.

Cabe suponer que hace 80 millones de años Nueva Jersey fue bastante más cálida de lo que es en la actualidad.

Para haber evolucionado hasta una fase tan avanzada de desarrollo hace 80 millones de años, las abejas tuvieron que haberse formado tal vez otros 80 millones de años antes que aquélla. Esto tiene importancia en relación con las plantas. Se cree que las plantas con flores evolucionaron al mismo tiempo que las abejas (y otros insectos parecidos), pues ambas están relacionadas entre sí. Las abejas viven esencialmente del néctar de las flores, y las flores se reproducen porque las abejas llevan polen de una flor a otra. Se cree que aquellas plantas tuvieron su origen hace unos 135 millones de años; pero si las abejas *son* más antiguas, también tienen que serlo las flores.

Los paleontólogos siguen estudiando. Cada insecto encontrado en ámbar es precioso.

LAS TORTUGAS HOGAREÑAS

La investigación científica no siempre puede determinar exactamente lo que es verdad; pero a veces puede decirnos que algo que es dramático y parece bueno puede no ser verdad.

Esto ocurrió a principios de 1989 en relación precisamente con las tortugas verdes.

Hay muchos animales migratorios que crían en un lugar y se alimentan en otro que puede estar a miles de kilómetros de distancia. Esto significa que tienen que encontrar el camino de un sitio a otro sin más medios que sus sentidos y su instinto.

Las tortugas verdes, por ejemplo, se alimentan a lo largo de la costa del Brasil, pero a finales de cada año algo las empuja hacia el este, a través del océano Atlántico, en un viaje que dura dos meses. Por fin llegan a la playa de la isla de Ascensión, un pequeño trozo de tierra en medio del Atlántico, a unos 2.000 kilómetros al este de Brasil. Anidan y crían allí y después vuelven (2.000 kilómetros más, otros dos meses) a Brasil, para alimentarse hasta que al final de otro año algo las empuja de nuevo hacia el este.

Las pequeñas tortugas que salen del cascarón en Ascensión y sobreviven, nadan también hacia Brasil para volver a finales de año. En realidad es frecuente que los animales emprendan largos viajes para volver al lugar donde nacieron y donde quieren criar. A esto lo llamamos «hogar natal». Los biólogos especulan sobre cómo estos animales pueden orientarse para la navegación, pero lo que les desconcierta más es por qué lo hacen.

¿Por qué tienen que hacer las tortugas un viaje tan largo? ¿Qué tiene la isla de Ascensión que no tengan otros lugares? En realidad algunas tortugas verdes anidan en otros sitios. Hay un lugar frente a la costa de Florida y otro frente a la de Venezuela, pero la isla de Ascensión es la más popular.

En 1974, Patrick Coleman y Archie Carr, dos biólogos de Florida, hicieron una interesante sugerencia. La isla de Ascensión está muy cerca de la Cadena de la Mitad del Atlántico, donde hace unos 40 millones de años África y América del Sur casi se tocaban. En aquellos tiempos, las tortugas verdes se alimentarían en Brasil y nadarían unos tres kilómetros hacia la isla de Ascensión, para desovar.

Pero se estaba formando el océano Atlántico porque brotaba material de la cadena y obligaba a las masas de tierra a separarse («extensión del suelo marino»). Cada año, las tierras de Brasil donde se alimentaban las tortugas estaban aproximadamente dos centímetros más lejos de la cadena y de la isla de Ascensión. Cada año, las tortugas tenían que nadar dos centímetros más para llegar a aquella isla. Entonces, las tortugas no debían darse cuenta de que la playa se iba alejando, pero al cabo de 40 millones de años tuvieron que nadar dos mil kilómetros en cada dirección.

Hay algo tan dramático en la posibilidad de que la extensión del fondo del mar engañase a las tortugas, que fueron muchos los que tendieron a creer aquella sugerencia; pero Stephen Jay Gould, de Harvard, se mostró escéptico. Dijo que en 40 millones de años habría veces que la isla de Ascensión no tendría playas o incluso podría estar temporalmente sumergida durante unos cientos de años. Esto habría roto el hechizo.

¿Hay alguna manera de estudiar la cuestión y ver si las tortugas verdes han estado o no visitando la isla de Ascensión durante 40 millones de años?

Dos científicos de la Universidad de Georgia, Brian W. Bowen y John C. Avise, junto con Anne B. Meylan, del Institute of Marine Research de Florida, han estado estudiando las moléculas de ácido nucleico mitocondrial de las células de las tortugas.

Éstas se heredan a través de las generaciones y cambian lentamente con los años (esto es lo que hace posible la evolución). Las tortugas que visitan Ascensión tienen un ácido nucleico que cambia lentamente, y lo mismo les ocurre a las tortugas que anidan frente a la costa de Florida y las que lo hacen frente a la de Venezuela.

Pero si las tortugas se han aferrado siempre a sus tierras de origen durante decenas de millones de años, cada grupo tendría que haber experimentado una serie diferente de cambios, y las tres clases de ácidos nucleicos tendrían que ser ahora muy distintas. Actualmente, los científicos tienen medios de saber cuáles deberían ser aquellas diferencias.

Resultó que existían realmente diferencias entre los tres grupos, pero mucho más pequeñas de lo que habría debido ser después de una separación de muchos millones de años. En realidad indicaba una separación de sólo 40.000 años, en vez de 40 millones.

Esto hace pensar en dos posibilidades. Una de ellas es que a fin de cuentas el instinto hogareño no es infalible. Un pequeño número de tortugas se confundieron y fueron a parar a playas equivocadas. Allí criaron y mezclaron sus ácidos nucleicos con los de las tortugas del país. Incluso una pequeña «filtración» de esta clase eliminaría casi toda la diferencia.

La otra posibilidad es que, en general, las tortugas son más adaptables de lo que creemos. Hace 40.000 años, algunas pudieron descubrir accidentalmente las playas de la isla de Ascensión, que por lo que sabemos pudo formarse entonces y no haber existido antes. Aquellas tortugas las colonizaron y utilizaron desde entonces, mientras que otras tortugas utilizaron otras playas.

Si los científicos pudiesen determinar de alguna manera si la isla de Ascensión ha tenido una existencia ininterrumpida durante 40 millones de años, esto les ayudaría a decidir cuál de las dos teorías sobre el comportamiento de las tortugas verdes es la acertada, pero lo más probable es que la isla estuviera sumergida durante algunos períodos, y que las tortugas sean en efecto adaptables.

Y si algún día las playas de Ascensión se vuelven inhabitables, las tortugas podrán trasladarse a otras. Una teoría tal vez menos dramática, pero más sensata.

EL MAMÍFERO MÁS RARO

El mamífero más raro que conocemos parece serlo todavía más de lo que creíamos, y ya lo era tanto al principio que los zoólogos no daban crédito a sus ojos cuando, en 1800, el primer ejemplar disecado llegó a Inglaterra. Procedía del poco explorado continente de Australia.

El animal en cuestión, una especie todavía viable, tiene casi sesenta centímetros de largo y una espesa capa de pelo que le caracteriza como mamífero, pues sólo los mamíferos tienen pelo. (También alimenta a los pequeños con leche, y sólo los mamíferos producen leche.) Sin embargo tiene un pico plano y elástico bastante parecido al de un pato, lo que no tiene ningún otro mamífero. Cuenta también con un espolón en cada pata de atrás por donde puede segregar veneno, algo que tampoco tiene ningún otro mamífero.

Aunque es un animal de sangre caliente, no mantiene una temperatura interna tan constante como los mamíferos. Posee también debajo de la cola una abertura para expulsar los excrementos, parecida a la de los pájaros y reptiles, en vez de las dos que tienen los mamíferos. Por si esto fuera poco, ciertos detalles de la estructura del cráneo son más propios de los reptiles que de los mamíferos.

Pero lo más extraño, algo que no se descubrió hasta 1884 es que esta criatura pone huevos por esa misma abertura de atrás, a la manera de las aves y de los reptiles.

El nombre de este mamífero en inglés es *duckbill platypus.* «Duckbill» quiere decir «pico de pato», y «platypus» es una palabra derivada del griego y significa «pies planos». También se le llama «ornitorrinco», de unas palabras griegas que significan «pico de ave».

No es el único mamífero que pone huevos pues también lo hacen dos especies de osos hormigueros erizados llamados «equidnas», muy relacionadas con él y que viven en Australia y Nueva Guinea. Estas tres especies de mamíferos de reproducción ovípara se llaman «monotremas», del griego «una abertura».

Los monotremas (junto con los marsupiales, como el canguro, que pare a sus crías muy subdesarrolladas) parecen ser las últimas reliquias de mamíferos primitivos que sólo evolucionaron en parte de la fase de reptiles. Han sobrevivido sólo en Australia y Nueva Guinea, que se separaron de los otros continentes antes de que hubiesen evolucionado en estos mamíferos más avanzados.

Sin embargo los monotremas no han dejado de evolucionar. Pueden no haber desarrollado ciertas características de los mamíferos, como la placenta, que permite a los mamíferos avanzados dar a luz hijos bien desarrollados, pero en cambio han adquirido rasgos propios inhabituales y avanzados. El espolón con veneno del ornitorrinco es un ejemplo de ello.

Este animal es una criatura de agua dulce. Aunque respira el aire como los mamíferos (y como los pájaros y reptiles), pasa mucho tiempo en el lecho de los ríos, buscando cangrejos y otras pequeñas formas de vida acuática con las que se alimenta.

Lo extraño es cómo encuentra el ornitorrinco su comida, pues a menudo los ríos son fangosos y la visión resulta relativamente inútil. En realidad, cuando está debajo del agua cierra los ojos, las orejas y la nariz, y parece que sólo puede encontrar la comida con el sentido del tacto. Sin embargo se dirige hacia sus presas antes de acercarse lo suficiente como para poder tocarlas.

En 1986, científicos de la Universidad Nacional Australiana, de Canberra, descubrieron que el ornitorrinco tiene un sentido especial. Hay ciertas extremidades nerviosas a lo largo de su pico que son sensibles a pequeños campos eléctricos. (Es posible que los otros monotremas, los equidnas, también tengan sensores eléctricos.)

Si es así, anotemos otra rareza de los monotremas pues ningún mamífero parece tener estos sensores, como tampoco los tienen los reptiles, aunque sí algunos peces.

El sentido eléctrico del ornitorrinco es más variado y útil que el que poseen los peces. Algunos peces responden sólo a corrientes eléctricas que fluyen constantemente en una dirección; otros responden sólo a corrientes eléctricas alternas. En cambio el ornitorrinco responde a ambas clases de corriente.

Más aún, sus sensores eléctricos están conectados a un nervio diferente del de los peces, lo cual demuestra que no partió de esta capacidad de los peces sino que su sentido eléctrico evolucionó independientemente.

¿Cuál es la utilidad de este sentido? Bueno, todos los animales vivos tienen nervios y músculos que al moverse el animal se activan con pequeñas corrientes eléctricas que fluyen a lo largo de ellos. El ornitorrinco detecta el campo creado por estas corrientes y la dirección de la que vienen, y así puede «ver» su presa gracias a la electricidad.

Además, el roce del agua corriente contra el lecho del río crea pequeños campos eléctricos propios, que el ornitorrinco también puede detectar. Esto le da una noción de la desigualdad del lecho y le permite maniobrar con seguridad sin emplear los sentidos ordinarios.

Por otra parte, este sentido eléctrico puede explicar el hecho de que sea difícil mantener a los ornitorrincos en cautividad. El agua tiene que ser impulsada por bombas eléctricas, y esto puede estimular excesivamente el sentido de la electricidad e impedir que el ornitorrinco se desenvuelva bien.

AGUA ANTIGUA

¿Son las antiguas minas de sal lugares seguros para guardar residuos nucleares? ¿Cómo podemos garantizar que dentro de miles de años el agua del suelo no se introducirá en las minas, oxidará los contenedores, dejará en libertad los desperdicios y los desparramará en el suelo, contaminando todo lo que toquen?

Una manera de prever este futuro desconocido es considerando el pasado. Las minas de sal se formaron porque en un pasado remoto, brazos de mar superficiales, calentados por un sol implacable y en condiciones de escasa lluvia, se secaron gradualmente.

Al quedar poca agua para mantener disuelto su contenido de sal, se formó una capa de cristales de sal que aumentaron rápidamente bajo el calor del día. Cada vez se fue formando más sal y el agua fue desapareciendo hasta que sólo quedó un suelo de sal completamente seco. A lo largo de los años fueron cayendo polvo y arena sobre la sal hasta que ésta quedó profundamente enterrada en el nuevo suelo, dando lugar a la mina de sal.

Pero mientras se estaba formando la capa de sal, la lluvia vertería agua dulce sobre ella. Durante poco tiempo, esta agua podía disolver pequeñas cantidades de sal, pero entonces se alejaban las nubes, volvía a brillar el sol ardiente e implacable y el agua se evaporaba.

A veces debía de haber una carrera entre la evaporación del agua y el crecimiento de los cristales de sal. En ocasiones un cristal se formaría tan rápidamente que envolvería una gotita de agua, es decir, una gotita del mar que se estaba secando. En la actualidad se pueden encontrar en minas de sal cristales que contienen gotas diminutas de agua que pueden remontarse a los antiguos tiempos en que se secó un brazo de mar, hace tal vez cientos de millones de años.

¿Tiene alguna importancia que dispongamos de esta agua tan antigua? A fin de cuentas, el agua no cambia con la edad.

Bueno, no cambia con la edad pero sí con la evaporación.

Cada molécula de agua está constituida por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. Cada átomo de hidrógeno tiene un peso atómico de 1, y cada átomo de oxígeno pesa 16, de modo que cada molécula de agua pesa 1 más 1 más 16 o sea 18.

Sin embargo, hay poquísimos átomos de hidrógeno (uno por cada seis mil quinientos) que pesa 2. Además, uno de cada quinientos átomos de oxígeno pesa 18, y uno de cada dos mil quinientos, 17. Como resultado de ello hay poquísimas moléculas de agua que en vez de 18 pueden pesar 19, 20, 21 o 22, según los átomos de hidrógeno pesado y de oxígeno pesado que hayan conseguido atrapar.

Actualmente es posible determinar los pesos medios de las moléculas en una cantidad de agua pura, con gran precisión y en varios decimales. Como el agua contiene siempre el mismo pequeño porcentaje de átomos pesados, el peso medio molecular es ligeramente superior a 18, tanto si es agua de grifo como si procede del centro del océano.

Pero las moléculas de agua más ligeras se evaporan un poco más deprisa que las otras. (Como son más ligeras pueden desprenderse más fácilmente de la masa de agua.) Por eso si se evapora una cantidad considerable de agua, la que queda es más rica en moléculas pesadas, y el peso medio de éstas moléculas es perceptiblemente mayor que el que tendría de no haberse evaporado agua.

Consideremos ahora los cristales de sal que contienen gotitas de agua. Se puede calcular el tiempo que ha pasado desde que se formaron aquellos cristales de sal del mar que se estaba secando. Geólogos de la Universidad del Estado de Arizona, que trabajan con esta sal, tienen un cristal de 400 millones de años de antigüedad, y la gotita de agua que contiene es la muestra más antigua de agua que conocemos. Muestras de sal de uno de los lugares donde pueden guardarse residuos nucleares tienen 250 millones de años de antigüedad.

El agua contenida en estos cristales de sal se estaba evaporando cuando quedó atrapada. Por consiguiente debería ser más rica en átomos pesados, y sus moléculas tener un peso medio claramente mayor que las del agua en su primitivo estado. Al

menos esto debería ser verdad si el agua antigua hubiese permanecido intacta. Si se hubiese filtrado en la mina de sal agua fresca del suelo y hubiese encontrado alguna manera de introducirse en los cristales, entonces sería un agua relativamente nueva. No se habría evaporado mucho en la fresca oscuridad de la mina, y sus moléculas tendrían por término medio un peso bajo.

Los geólogos del Estado de Arizona han detectado agua en cristales de sal, iluminando estos cristales desde atrás y estudiándolos con un microscopio de poca potencia. En algunos casos han extraído las gotitas diminutas y comprobado el peso de sus moléculas.

Los análisis demuestran que las moléculas tienden a ser pesadas y llevan a la conclusión de que el agua contenida en los cristales ha debido permanecer intacta durante cientos de millones de años. Por consiguiente, las minas de sal pueden ser realmente depósitos seguros para residuos nucleares.

LOS RAYOS Y LA VIDA

La lluvia ácida no siempre es mala. Hay algunas clases que no sólo son buenas sino que representan un papel activo en la conservación de la vida terrestre. Y experimentos recientes han demostrado que alguna lluvia ácida resulta todavía más vivificante de lo que habíamos pensado. Veamos la razón.

Uno de los elementos importantes que se encuentra en todas las moléculas clave de los tejidos vivos es el nitrógeno.

Existen átomos de nitrógeno en el suelo, como parte de sustancias minerales llamadas «nitratos». Todos los nitratos son fácilmente solubles. Esto significa que cuando las plantas absorben agua del suelo, esta agua contiene un poco de nitrato. La planta emplea el nitrato como materia prima para la formación de compuestos, que contienen nitrógeno, importante para la vida, especialmente proteínas y ácidos nucleicos.

Los animales que comen plantas (o que comen otros animales que han comido plantas) descomponen aquellas proteínas y aquellos ácidos nucleicos en piezas más sencillas, las absorben y vuelven a construir con ellas sus propias variedades de proteínas y de ácidos nucleicos.

Toda la vida terrestre depende de estos nitratos del suelo.

Pero como los nitratos son solubles, la lluvia tiende a verterlos en los arroyos, después en los ríos y por último en el mar. Con el tiempo desaparecerían todos los nitratos, y aunque continuaría la vida en el mar, donde finalmente van a parar los nitratos, la tierra quedaría convertida en un desierto absoluto, a menos que pudiesen reemplazarse los nitratos.

Cuatro quintas partes de la atmósfera de la Tierra son puro nitrógeno. Si se pudiese fijar un poco de este nitrógeno, es decir, combinarlo con otros elementos, podría ser utilizado por las plantas. Pero el nitrógeno es muy inerte y combina con gran dificultad con otros átomos.

Sin embargo todavía existen nitratos en el suelo y son reemplazados. ¿Cómo? En primer lugar, los seres humanos han aprendido a fijar nitrógeno en grandes cantidades, y los nitratos resultantes se pueden emplear como abonos; pero este procedimiento es reciente. Sólo empezó a utilizarse hace unos tres cuartos de siglo. ¿Cómo se podía conservar la vida con anterioridad?

Se da el caso de que hay bacterias que tienen la extraordinaria capacidad de obligar al nitrógeno del aire a combinarse con otros átomos. Se las llama «bacterias fijadoras de

nitrógeno» y se encuentran especialmente en nódulos sujetos a las raíces de plantas leguminosas, tales como guisantes y judías.

Estas bacterias son sumamente importantes para la vida en general (incluida la nuestra). Además, están los rayos. Cuando descarga un rayo, calienta momentáneamente el aire a su alrededor y le hace alcanzar altísimas temperaturas. El aire se enfría rápidamente, pero antes el calor provoca la combinación de moléculas de nitrógeno y de oxígeno, formando dióxido de nitrógeno. Éste se disuelve en el agua (generalmente está lloviendo cuando cae el rayo) para formar ácido nítrico, que produce una especie de lluvia ácida. Cuando el ácido nítrico llega al suelo se convierte en nitratos, que contribuyen a fertilizar la tierra y que hacen posible la vida en ella.

Hasta hace poco se creía que los rayos originaban un diez por ciento de los nitratos del suelo. Este porcentaje se calculó estudiando rayos simulados producidos en laboratorio. Pero dos científicos americanos, Edward Franzblau y Carl Popp, del Instituto de Minería y Tecnología de Nuevo México, se han valido de la propia naturaleza. Recientemente inventaron un método para calcular la cantidad de dióxido de nitrógeno formado por los rayos naturales durante las tormentas.

Estudiaron unas sesenta descargas y calcularon que cada una de ellas produce aproximadamente mil billones de billones de moléculas de dióxido de nitrógeno. Esto equivale a unos cuarenta y cinco kilos del material. Y por término medio se producen cien descargas de esta clase por segundo sobre la Tierra. Esto significa que el rayo produce cinco toneladas y media de dióxido de nitrógeno por segundo. Franzblau y Popp calcularon que esto significa que el rayo no produce el 10 por ciento del óxido de nitrógeno que consume la vida en la Tierra, sino el 50 por ciento.

Esto es impresionante (suponiendo que sus observaciones y cálculos sean correctos) y desde luego nos da una nueva perspectiva sobre el rayo. Por peligrosos que sean los rayos matando a gente e incendiando bosques, parece que sus beneficios superan a los perjuicios.

Pero si la lluvia ácida producida por los rayos es tan esencial para la vida, ¿por qué produce tanto temor la expresión de «lluvia ácida»? ¿Por qué se la considera tan maligna?

Porque la lluvia ácida que tenemos es producida por la combustión de carbón impuro y de petróleo que contienen átomos de azufre y de nitrógeno. La lluvia ácida producida por el hombre contiene ácido sulfúrico además de ácido nítrico. El ácido sulfúrico es particularmente peligroso y no está presente en la lluvia ácida causada por el rayo.

Además, la lluvia ácida producida por el hombre es considerablemente más ácida que la causada por el rayo. Al caer vierte un exceso considerable de ácido. Y es este exceso lo que seca los bosques y mata los peces en las charcas y los lagos.

LA GRAN MATANZA

Los incendios que asolaron buena parte del oeste de América durante el verano de 1988 fueron un gran desastre, pero nada en comparación con un incendio mucho más grande que ocurrió hace unos 65 millones de años.

Aquella época de la desaparición de los dinosaurios se ha convertido en tema corriente de controversia científica en los últimos años. Muchos científicos han especulado sobre la posibilidad de que una tremenda catástrofe originada en el espacio exterior fuera la causa de la extinción de los dinosaurios.

En las capas rocosas que se formaron hace unos 65 millones de años hay una sorprendente cantidad del raro metal iridio. El iridio es muy raro en la corteza terrestre, pero común en los meteoritos y cometas. Esta capa de iridio de 65 millones de años de

antigüedad ha sido encontrada por todas partes donde han mirado los científicos, por lo que se presume que un gran asteroide o cometa chocó contra la Tierra hace 65 millones de años y mató a la mayoría de las especies vivientes en ella, incluidos los dinosaurios.

¿Por qué murieron en toda la Tierra, si el asteroide la alcanzó sólo en un lugar? La primera respuesta fue que el asteroide levantó una enorme nube de roca pulverizada, tierra y polvo, que se extendió por toda la atmósfera superior, ocultando la luz del Sol durante meses. Esto habría matado a la mayoría de las plantas del mundo y también de los animales, ya que éstos dependen directa o indirectamente de las plantas para su manutención.

Aquel enorme impacto tuvo que hacerse sentir de otras maneras. Es probable por ejemplo que el asteroide cayese en el mar, ya que éste ocupa el 70 por ciento de la superficie de la Tierra. Desde luego habría penetrado hasta el fondo del mar y levantado de él la mortal nube de polvo que ocultó la luz del Sol. Pero también habría agitado el agua, produciendo un horrible *tsunami o* maremoto.

Un grupo de geólogos encabezado por Joanne Bourgeois estaban estudiando las capas rocosas del este de Texas cuando tropezaron con una capa de piedra arenisca de unos sesenta centímetros de espesor. Había en ella fragmentos de conchas, madera, dientes de peces, etc., y en la parte superior señales de ondas que pudieron ser producidas por las olas. Y a todo esto se le calculó una antigüedad de 65 millones de años.

Por consiguiente, los geólogos supusieron en 1988 que el asteroide o cometa que había chocado con la Tierra en aquel entonces debió caer en el golfo de México. La piedra arenisca sería entonces resultado de la enorme masa de agua que rompió sobre las costas del golfo y se retiró lentamente, haciendo estragos. Este maremoto sólo habría afectado a una determinada parte de la Tierra. Pero si la capa de piedra arenisca ha sido correctamente interpretada, al menos refuerza la teoría de un gran impacto desde el espacio exterior.

Sin embargo, el asteroide aún debió de producir un efecto peor. Edward Anders, de la Universidad de Chicago, y otros investigadores, han descubierto recientemente que aquella capa clave de piedra de 65 millones de años de antigüedad se encontraba en lugares tan diversos como Suiza, Dinamarca y Nueva Zelanda. Dondequiera que mirasen encontraban una capa de hollín de cien a diez mil veces más concentrado de lo que parecía lógico esperar.

Probablemente este hollín era los restos de un incendio.

Estudiando su exacta naturaleza, la cantidad de carbono presente y la proporción de las diferentes variedades atómicas (o isótopos) que contenía, los geólogos llegaron a la conclusión de que todo se debía a un solo incendio, un incendio a escala mundial.

Este sería el escenario. El enorme objeto procedente del espacio exterior debió perforar la corteza de la Tierra. Además, para producir la gran nube de polvo y la enorme marea, también debió dar salida a la roca calentada (magma) de debajo de la corteza. El magma debió surgir tanto en el lugar de la perforación original como en otras muchas partes de la Tierra, al ser agrietada su corteza por el impacto.

Una tremenda actividad volcánica debió provocar incendios simultáneos en muchos lugares diferentes, contribuyendo a la conflagración de alcance más o menos mundial que tuvo lugar en la superficie del mundo. El hollín es rico en compuestos orgánicos, lo cual indica que debieron extinguirse grandes cantidades de vida microscópica.

También existe la posibilidad de que se produjese dióxido de carbono suficiente para producir un calentamiento a consecuencia del efecto invernadero. Debieron producirse óxidos de nitrógeno que darían por resultado un largo período de lluvia ácida. Y

debieron formarse monóxido de carbono y otros compuestos que contenían carbono y que envenenaron la atmósfera durante un tiempo.

Es una imagen tan espantosa que me pregunto si será correcta. No puedo dejar de considerarlo como una gran matanza, con la nube de polvo en la atmósfera superior, los maremotos, los incendios continentales, el dióxido de carbono, la lluvia ácida y venenos de toda clase. Una escena catastrófica, sobrecogedora. Si todo esto ocurrió hace 65 millones de años, fue sin duda lo que mató a los dinosaurios. Pero entonces se plantea una cuestión: ¿Cómo pudo salvarse alguna forma de vida? ¿Cómo es posible que hoy existamos nosotros?

EL AGUJERO EN LA CAPA DE OZONO

La cantidad de ozono en la atmósfera superior ha disminuido hasta quedar reducida a la mitad de lo que era hace quince años. En 1985 se descubrió que se forma un agujero en la capa de ozono cerca de la Antártida, en otoño. Se estudiaron rápidamente los datos recogidos por los satélites en los últimos años y parece que el agujero en la capa de ozono se ha ido agrandando de año en año. En definitiva, puede ocurrir que desaparezca la capa de ozono en la atmósfera superior.

¿Tiene esto importancia? Desde luego. La capa de ozono impide que los peligrosos rayos ultravioletas del Sol penetren hasta llegar a la superficie de la Tierra, donde podrían causar daños a los seres humanos en forma de graves quemaduras de sol, cáncer de piel, cataratas y otras dolencias. Peor aún, podrían matar las bacterias del suelo y las algas del mar, destruyendo un eslabón crítico de la cadena ecológica.

El problema del ozono fue pronosticado a principios de los años setenta por dos científicos de la Universidad de California, que señalaron como responsables a los clorofluocarbonos (CFC), de los que el freón es el ejemplo más conocido. Estos CFC no son inflamables. No son tóxicos. Son absolutamente inofensivos para el que los usa. Fueron fácilmente licuados y evaporados para que transmitiesen calor de un lugar a otro. Debido a sus cualidades, después de la Segunda Guerra Mundial se utilizaron cada vez más en frigoríficos, acondicionadores de aire y pulverizadores.

En definitiva, todo el CFC va a parar a la atmósfera desde dondequiera que esté. Se han filtrado ya en el aire varios millones de toneladas, y la cantidad va en aumento cada día.

El CFC permanece en la atmósfera y no es arrastrado por la lluvia ni transformado por otras sustancias químicas; solo asciende continuamente hacia la estratosfera.

En la estratosfera, la luz del Sol rompe lentamente las moléculas de CFC, liberando átomos de cloro. Entonces, éstos destruyen las moléculas de ozono.

Cuando se dio a conocer este peligro, en Estados Unidos se prohibió el uso de CFC en los pulverizadores, pero sigue empleándose en otras muchas cosas. Además, hasta ahora no hay buenos sustitutos para los frigoríficos y los acondicionadores de aire.

Esto es motivo de grave preocupación porque la capa de ozono de la atmósfera superior es opaca a la luz ultravioleta.

La mayor parte de la luz ultravioleta del Sol es absorbida por el ozono y muy poca llega a la superficie de la Tierra. Al disminuir la capa de ozono, llega más luz ultravioleta a la superficie de la Tierra. Esto significa un aumento del cáncer de piel en los seres humanos. Se calcula que en el curso del próximo siglo habrá 40 millones de casos de cáncer de piel, sólo entre los americanos, y 400.000 defunciones. También habrá un aumento de cataratas y de otras dolencias.

Esto afectará mucho más a los individuos de piel blanca que a los de piel pigmentada. Por consiguiente, los europeos y sus descendientes sufrirán más las

consecuencias que los africanos, los asiáticos y los indios americanos. Y entre los europeos, los rubios saldrán más perjudicados que los morenos.

(La gente como yo, que me pongo colorado si tomo el sol quince minutos, a pesar de la capa de ozono, se hallará en graves dificultades.)

Pero ¿no habrá más que una mayor tendencia a las quemaduras que perjudican la piel? En tal caso, ¿no podríamos quedarnos en casa lo más posible y llevar sombrilla cuando tengamos que salir?

Por desgracia el problema es mucho más grave.

El ozono es una forma activa de oxígeno. Las moléculas de oxígeno ordinario contienen dos átomos de oxígeno cada una de ellas. Las de ozono, tres átomos de oxígeno. No puede haber una capa de ozono en la atmósfera si no hay oxígeno ordinario en ella, y este oxígeno no existió en cantidades significativas hasta hace 1.000 millones de años. Durante al menos 2.500 millones de años antes de aquello, existió vida en la Tierra sin oxígeno en la atmósfera y sin la capa de ozono.

Entonces las formas de vida eran simples células del tamaño de bacterias, que vivían en el mar y por debajo de la capa superior en la que no podía penetrar la luz ultravioleta. En tierra no existía vida alguna porque estaba expuesta a la luz ultravioleta.

Hace 1.000 millones de años, con oxígeno presente al fin en el aire, hubo energía suficiente para que las formas de vida empezaran a hacerse más complejas. Parece que hace sólo 400 millones de años (cuando la vida tenia más de 3.000 millones de años de antigüedad) hubo al fin bastante oxígeno en el aire para que se desarrollase una capa de ozono lo suficientemente gruesa como para proteger la vida en tierra. Sólo entonces subieron seres vivos a la capa superior del mar e invadieron también la tierra firme.

Si la capa de ozono se reduce ahora de manera drástica, y si la luz ultravioleta llega con fuerza hasta nosotros, esto puede que no afecte demasiado a las plantas superiores y a los animales. Tenemos pelos, plumas, escamas, cutículas, piel, corteza, etc., para protegernos. Pero ¿qué decir de las bacterias del suelo y de las algas marinas que están todavía desnudas e indefensas?

¿Podría matarlas la luz ultravioleta? Podría hacerlo. La vida en la tierra y en la capa superior del agua del mar podría volverse tan imposible para ellas como lo era hace mil millones de años. Y si desapareciesen estos microorganismos, no podemos ni imaginar lo gravemente que esto afectaría a los organismos superiores que dependen ecológicamente de ellos. Dicho en pocas palabras, podría ser que el tejido mismo de la vida se hallase en grave riesgo. Entonces, ¿qué hemos de hacer? Evidentemente, dejar de emplear CFC. Esto resulta relativamente fácil. El problema es encontrar una manera de neutralizar la cantidad que ya está en el aire. Esto es mucho más difícil.

EL ÚLTIMO LUGAR LIMPIO

La Antártida es el último lugar de extensión considerable que permanece limpio en la Tierra, aunque su borde norte sufrió un vertido de petróleo el 29 de enero de 1989. Y la cosa puede empeorar porque se espera (créase o no) que la Antártida será visitada por un número creciente de turistas, con sus barcos, basura y contaminación consiguiente. Parece que esto no debería preocuparnos. A fin de cuentas, ¿no es la Antártida un gran desierto de hielo?

En realidad es algo más.

Sabemos que el interior es el paraje del mundo donde hay menos vida, pero en las orillas del continente habitan pingüinos, focas y gaviotas. Además, debemos considerar el área que lo rodea: el océano Antártico.

La vida en la Tierra depende del agua más que del oxígeno.

El oxígeno está a nuestra disposición dondequiera que podamos respirar un aire razonablemente limpio, pero el agua está desigualmente distribuida. Hay lugares en tierra firme que tienen muy poca agua, y son los desiertos, donde la vida es rara. Hay lugares donde llueve copiosamente, y allí tenemos bosques rebosantes de vida.

En cuanto a la vida en el mar, sucede lo contrario; lo que cuenta es el oxígeno, no el agua. Hay agua en todas partes, pero no oxígeno. El oxígeno del aire y el formado por plantas verdes microscópicas en la superficie de los mares se disuelven en el agua, y eso es lo que mantiene la vida de todos los animales marinos.

Los vientos agitan la superficie de los mares para que pueda disolver constantemente oxígeno. Las corrientes marinas llevan este oxígeno disuelto a todas partes y en todas las profundidades, incluso hasta el mismísimo fondo. Pero ¿cuánto representa este oxígeno? ¿Es suficiente?

Esto depende de la temperatura. Cuanto más caliente está el agua, menos gases disuelve, entre ellos naturalmente el oxígeno. Esto significa que el agua caliente de los mares tropicales disuelve sólo un poco más de la mitad de oxígeno que el agua helada de los mares polares.

Los seres humanos expuestos al agua fría próxima a los polos sólo pueden esperar un entumecimiento y una rápida muerte, mientras que el agua templada de los trópicos es un paraíso para los nadadores, aunque menos para la vida marina en general.

Las aguas tropicales, con su escasez de oxigeno, son como desiertos en comparación con otras partes del océano. En cambio las aguas polares están rebosantes de vida. La vida microscópica es increíblemente abundante. LOS animales pequeños se alimentan de ella; los animales más grandes se comen a los pequeños y son comidos a su vez por otros animales aún más grandes, y así sucesivamente.

En realidad, el animal más grande que ha vivido y vive en la Tierra, la gigantesca ballena azul, que puede pesar hasta 150 toneladas, el doble del mayor dinosaurio que haya podido existir, habita en el Antártico. Vive recogiendo con sus gigantescas mandíbulas enormes cantidades de krill, pequeños animalitos parecidos a camarones, de cinco centímetros de largo.

Por tanto, si el continente de la Antártida es en su mayor parte un desierto helado, las aguas que lo rodean son la reserva más rica de vida del planeta, y mantienen a los grandes animales de los lejanos mares del sur: pingüinos, gaviotas, focas, delfines y ballenas. Si perjudicamos gravemente aquella región, haremos un enorme agujero en el tejido de la ecología del planeta. Recordemos que cada parte depende de otra parte, de manera que el daño en un lugar riquísimo en vida puede repercutir en los restantes lugares.

Muchos tipos de contaminación son limpiados gradualmente por procesos naturales. El petróleo derramado, por muy perjudicial que sea, se evapora en parte, se descompone, se degrada poco a poco y, en definitiva, desaparece. Claro que no lo hace con suficiente rapidez, y antes de degradarse causa muchos daños. En aquel incidente del Antártico se vertieron varias toneladas de gasóleo. El gasóleo se extiende y evapora más rápidamente que el fuel, pero también es más tóxico.

Desgraciadamente todos los procesos químicos tienden a ser más lentos al descender la temperatura, de modo que en agua fría la evaporación y la degradación de la sustancia vertida se retrasan. Y a las frías temperaturas del Antártico, la velocidad de evaporación y degradación puede ser sólo una centésima de la que alcanzaría en climas cálidos. Entonces podría ser que, como calculan algunos pesimistas, aquella clase de vertidos produjese efectos nocivos durante un siglo o más.

La región antártica es valiosa para los moradores de la Tierra por el papel ecológico que representa y porque es una extraordinaria fuente de información para la ciencia.

Además tenemos la responsabilidad de proteger y conservar lo más posible, en su prístino estado, una de las pocas partes de la Tierra aún no estropeadas por el hombre.

Abrir el continente para satisfacción de los turistas sólo empeorará las cosas. La continua llegada de curiosos incrementará el riesgo de accidentes, como aquel vertido de petróleo.

El buque argentino que encalló y vertió el gasóleo llevaba provisiones para la estación científica argentina establecida en el continente, pero también transportaba un centenar de turistas. Estos barcos deberían limitarse a realizar sus funciones esenciales de abastecimiento y dejar que los turistas buscasen otros sitios para emplear su tiempo de ocio.

MÁS HUMEDAD Y CALOR

Nunca es fácil proclamar, lisa y llanamente, lo que debe ser considerado, entre muchas posibilidades, «el más importante adelanto científico» de un período determinado, particularmente en el campo de los descubrimientos, pues su importancia puede no advertirse inmediatamente. En 1944, un médico canadiense-americano, Oswald Theodore Avery, descubrió que era el ácido desoxirribonucleico (ADN) y no las proteínas lo que llevaba la información genética. Éste fue sin duda el descubrimiento más importante de aquel año, justo merecedor del Premio Nóbel.

Pero en aquella época los científicos no estaban convencidos de la importancia del descubrimiento, y cuando se vio claramente que había sido un hito crucial en la genética y que había causado una verdadera revolución en esta materia, era demasiado tarde para honrar a Avery como se merecía. Había muerto.

Permítanme por tanto que elija como mi candidato al título de gran acontecimiento científico de los tiempos recientes, algo sociológico, algo que tiene más que ver con las personas que con los descubrimientos. El año 1988, la gente se dio cuenta de algo llamado «efecto invernadero».

Los registros notables de temperatura se remontan sólo a los años cincuenta, pero 1987 fue el año más cálido de la Tierra desde entonces, y 1988 lo fue todavía más.

¿Por qué? Porque el dióxido de carbono de la atmósfera actúa como una trampa para el calor. La luz del Sol llega de día a la Tierra, atravesando la atmósfera con pocas interferencias y calentando su superficie. Por la noche, la Tierra irradia aquel calor al espacio, y esta radiación adopta la forma de ondas infrarrojas. Los principales componentes de la atmósfera terrestre, el oxígeno y el nitrógeno, son tan permeables a la luz infrarroja como a la ordinaria. En cambio, el dióxido de carbono absorbe la luz infrarroja y la irradia de nuevo en todas direcciones. Alguna vuelve a la superficie y mantiene la Tierra un poco más caliente de lo que estaría si no hubiese dióxido de carbono en la atmósfera.

Esto es buena cosa. Si no hubiese dióxido de carbono en la atmósfera, la Tierra estaría en una perpetua era glacial. Además, las plantas necesitan dióxido de carbono para la fotosíntesis. Si no existiera este gas en la atmósfera, no crecería ninguna planta y no habría vida en la Tierra, salvo quizás algunas bacterias. Pero si hubiese más dióxido de carbono del que hay en la actualidad, la Tierra podría volverse demasiado cálida.

La cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera, antes de que empezase la actual era industrial, era de aproximadamente del 0,027 por ciento, muy poco aunque lo suficiente para garantizar el desarrollo del mundo vegetal y mantener la Tierra razonablemente caliente. La cantidad ha ido aumentando constantemente desde entonces. El dióxido de carbono representaba el 0,030 por ciento de la atmósfera en

1958, en 1988 casi el 0,035 por ciento, y sigue creciendo. Este aumento no parece muy grande, pero es suficiente para que la Tierra se vaya caldeando cada vez más.

La temperatura media de la Tierra (teniendo en cuenta los cambios de día y de noche, de invierno y de verano) fue de unos 58 grados Fahrenheit (F) (14,5 °C), en 1980. Actualmente es de unos 59,5 F (15,4 °C). Se ha producido por tanto un aumento de 1,5 F (0,85 °C), lo cual tampoco parece mucho.

Pero este aumento significa mucho en términos de olas de calor más largas y más fuertes, de sequías más largas y peores... y, lo que aún es peor, de elevación del nivel de los mares.

El aumento del nivel de los mares se debe en parte al hecho de que el agua se dilata al subir la temperatura. Hay mucha agua en los océanos, e incluso un aumento de 1,5 F hace que se dilate bastante. Desde 1900, el nivel del mar se ha elevado unos quince centímetros, y sigue subiendo. Además, las temperaturas más cálidas harían que empezasen a fundirse los casquetes de hielo de Groenlandia y de la Antártida.

Si los casquetes de hielo se fundiesen del todo (tardarían algún tiempo, desde luego), el agua se vertería en el mar y el nivel de éste se elevaría unos sesenta metros. Lugares tales como los Países Bajos, Bangla Desh, Delaware y Florida quedarían totalmente cubiertos por las aguas.

Incluso existe la posibilidad de que se dé un círculo vicioso. Al calentarse más el agua, disminuye su capacidad de disolver el dióxido de carbono. Esto significa que parte del dióxido de carbono que contiene en solución se desprenderá y pasará a la atmósfera, donde actuará para calentar todavía más la Tierra.

Este no es un descubrimiento que se hiciese de pronto en 1988. Hacía años que los científicos reflexionaban sobre el efecto invernadero y se preocupaban por él. Yo mismo escribí un artículo, que se publicó en una revista en agosto de 1979, en el que decía mucho de lo que he expuesto aquí. En otras palabras, hace más de diez años que di la voz de alarma, pero desde luego nadie me escuchó.

Ahora, debido al calor y a la sequía de 1988, la expresión «efecto invernadero» se ha hecho familiar, y la gente presta atención. Pero las temperaturas suben y bajan de manera irregular y es posible que los dos próximos años sean un poco más fríos que 1988, aunque la tendencia general es que las temperaturas vayan en aumento. Si esto ocurre, me imagino que la gente se olvidará de nuevo de aquello hasta que llegue un año, en un futuro próximo, que aún sea peor que 1988.

Pero ¿qué podemos hacer para resolver el problema? Para empezar, debemos quemar menos carbón y menos petróleo.

Su combustión vierte constantemente dióxido de carbono a la atmósfera (junto con sustancias contaminantes, como los compuestos de azufre y nitrógeno, que atrapan el calor y son también peligrosos para los pulmones).

Cuando se quema gas natural, éste produce menos dióxido de carbono que el carbón y el petróleo, y cuando se emplea hidrógeno como combustible, no se produce en absoluto dióxido de carbono. En mi opinión, incluso la energía nuclear es preferible al carbón y al petróleo. La energía nuclear tiene sus peligros, pero si se extreman las precauciones puede hacerse inofensiva, y los residuos radiactivos también pueden eliminarse con seguridad. Por otra parte no hay manera de hacer que sea segura la combustión del carbón y del petróleo.

La mejor fuente de energía seria la solar, desde luego. La luz y el calor del Sol llegan en todo caso a la Tierra, y si empleásemos este calor antes de que fuera absorbido por la superficie de la Tierra, esto no aumentaría su contenido en calor ni cambiaría la atmósfera.

Mirando las cosas desde el otro extremo, ¿cómo podemos eliminar el dióxido de carbono una vez está en la atmósfera?

La mejor manera es fomentar el crecimiento de los bosques.

Los árboles absorben dióxido de carbono y producen el imprescindible oxígeno con más eficacia que cualquier otra forma vegetal.

Y sin embargo, en vez de esto estamos haciendo todo lo contrario. Los bosques de la Tierra están siendo talados a un ritmo impresionante, sobre todo en países tropicales como Brasil, Esto no puede continuar. Es suicida sostener que lo que hace un país dentro de sus fronteras sólo le incumbe a él. La destrucción de los bosques aumentará la cantidad de dióxido de carbono y reducirá la de oxígeno para toda la humanidad.

Este es un ejemplo de la naturaleza mundial de los peligros que nos amenazan y demuestra que no se puede permitir que una nación dicte sus leyes sólo para ella. Las soluciones también deben ser globales.

UN SEGUNDO INTERCALAR

El año 1987 no fue bisiesto. Se compuso exactamente de 365 días de 86.400 segundos cada uno. Por consiguiente, en 1987 el número total de segundos hubiese debido ser 31.536.000. Pero no fue así. El número de segundos fue 31.536.001. La razón de ello es que antes de que terminase el año se le añadió un segundo (un «segundo intercalar») por acuerdo internacional, ¿Por qué? Porque la Tierra gira de un modo irregular.

La rotación irregular de la Tierra es un descubrimiento relativamente reciente. La Tierra es tan pesada que se requieren fuerzas enormes para alterar su ritmo de rotación, y como su rotación es aparentemente tan regular, parece razonable predecir que dará una vuelta completa alrededor de su eje en relación con el Sol en 86.400 segundos, ni uno más ni uno menos.

Sin embargo, la rotación de la Tierra no es perfecta. Hay en ella masas que se mueven. El núcleo líquido central se mueve un poco al girar la Tierra. Hay terremotos que redistribuyen masas aquí y allá. Durante el invierno, grandes cantidades de agua son retiradas del océano y depositadas en tierra en forma de nieve, para volver al mar en primavera. Hay corrientes de agua en los mares y vientos en la atmósfera.

Todo esto produce oscilaciones en la rotación terrestre, de manera que de vez en cuando se retrasa o adelanta una fracción de segundo.

Esto no tendría mucha importancia porque a la larga las diferencias se equilibran, y aunque se perdiese una fracción de segundo de vez en cuando tampoco pasaría nada. Pero hay un cambio que es acumulativo. Afecta a las mareas.

El efecto gravitatorio de la Luna es mayor en el lado de la Tierra que está frente a ella que en el lado contrario, porque éste está trece mil kilómetros más lejos de la Luna. El resultado de ello es un ligero estiramiento de la Tierra en la dirección de la Luna. Este tiene mayor efecto sobre el mar líquido que sobre la tierra sólida. Hay un pequeño abultamiento en el lado del mar que mira a la Luna, y otro en el lado contrario. La Tierra gira con estos abultamientos, de manera que el nivel del mar sube y baja en la costa dos veces al día. Son las mareas.

Al girar la Tierra, los dos abultamientos del agua «frotan» los fondos marinos menos profundos (como los del mar de Bering y los del mar de Irlanda) y también las costas. Esta fricción, como todas, convierte la energía en calor. Esto significa que la Tierra está perdiendo continuamente energía de rotación y que su período de rotación se retrasa.

Ni siquiera las mareas pueden afectar el ritmo de rotación lo suficiente como para que nos demos cuenta. Pero los astrónomos lo advierten. Si estudian las posiciones de

las estrellas dadas a conocer por anteriores astrónomos, observarán que aquéllas varían continuamente con el tiempo. Cuando el ritmo de rotación de la Tierra se retrasa muy ligeramente, las estrellas parecen rezagarse y no alcanzar tan rápidamente el cenit. El cambio es acumulativo; después de un par de miles de años, las estrellas se han desplazado, aunque el día no se haya alargado perceptiblemente. Esto también es cierto en el caso de los eclipses. Si calculamos dónde hubiese debido verse un eclipse solar hacer unos cuantos siglos, nos encontraremos con que el eclipse fue observado, pero a kilómetros de distancia.

El estudio de antiguos informes astronómicos nos da sólo una idea de cómo se retrasa por término medio el período de rotación. Pero ¿cómo podemos medir este período de un día para otro? Para esto necesitamos un reloj que sea más regular que la Tierra. Este reloj no fue inventado hasta 1955.

Entonces tuvimos relojes atómicos capaces de contar las vibraciones de los átomos. Se podían contar, digamos, 9, 192, 631, 770 vibraciones por segundo, y esto era siempre igual; nunca habría una vibración de más o de menos. Entonces, si medimos la duración de cada día (o el tiempo entre las sucesivas apariciones de un astro particular en el cenit) podremos decir que el día varía en unas pocas vibraciones de un día a otro, a veces acelerando, a veces retrasando, pero a la larga y en definitiva, retrasándose.

Cuando la rotación de la Tierra se ha retrasado en 0,9 segundos, se añade un segundo intercalar y la Tierra vuelve a quedar sincronizada. Cuando se inició este sistema en 1972, se añadieron 10 segundos para restablecer la sincronía de la Tierra. En los quince años transcurridos desde entonces se han tenido que añadir 13 segundos intercalares. Se añaden a final de junio o a final de diciembre. Esto es necesario no sólo para los astrónomos sino también para los que gobiernan barcos, para los encargados de las comunicaciones mundiales por radio y televisión, etcétera.

En definitiva, y en un futuro lejano, tendremos que añadir un segundo intercalar todos los días, y llegados a este punto sólo tendremos que convenir en que el día se ha alargado un segundo. Entonces podremos definir el segundo como un poco más largo de lo que es ahora para conservar el mismo número de segundos por día.

UN MAPA DEMASIADO BUENO PARA SER VERDAD

A principios de los años sesenta se descubrió algo que fue llamado mapa de Vinland. Parecía un mapa del Atlántico Norte dibujado a base de los descubrimientos escandinavos realizados entre los años 800 y 1100 d. de C. Probablemente es anterior a la era de las grandes exploraciones que empezó en 1400.

A la derecha del mapa aparece la costa europea occidental, incluidas unas muy reconocibles Gran Bretaña e Irlanda, junto con Francia, España y, en lo alto, Escandinavia. En mitad del Atlántico, al oeste de Francia y España, hay un grupo de islas que probablemente representan las Azores.

Además, en el Atlántico Norte, al oeste de Escandinavia, aparecen primero Islandia y después Groenlandia. Pero lo más interesante es que al oeste de Groenlandia está dibujada una isla grande que debe representar la parte de América del Norte explorada por los vikingos y a la que éstos llamaron «Vinland». Vinland muestra dos grandes ensenadas: la situada más al norte termina en un mar interior y parece representar la bahía de Hudson, mientras que la de más al sur representa probablemente el golfo de San Lorenzo.

Este mapa no afecta realmente a nuestras nociones sobre el descubrimiento de América del Norte. El verdadero descubrimiento de los continentes americanos lo realizaron hace más de 25.000 años, en plena era glacial, cazadores siberianos que

siguieron a las manadas de mamuts hasta el interior de lo que actualmente es Alaska. Indudablemente nunca conoceremos los detalles de esta expansión trascendental de la actividad humana.

Este mapa tampoco afecta a nuestras ideas sobre la importancia de la obra de Cristóbal Colón. Los viajes de Colón no sólo llegaron a los continentes americanos sino que condujeron a su colonización por los europeos y a su entrada en la gran corriente de la historia humana. En comparación con esto, los anteriores descubrimientos de los vikingos no tuvieron consecuencias y fueron sólo una nota a pie de página en la Historia. El descubrimiento efectivo fue el de Colón.

Sin embargo, el mapa de Vinland nos dio una imagen mucho mejor de cuantas se tenían hasta entonces sobre el alcance de los descubrimientos de los vikingos.

Pero la cuestión era saber si el mapa era auténtico... o una falsificación.

En 1974, unos químicos extrajeron diminutas partículas de tinta del mapa y las sometieron a un cuidadoso análisis.

Detectaron la presencia de óxido de titanio. Éste es un componente absolutamente normal de la tinta, pero sólo de la tinta moderna. A finales de la Edad Media y principios de la Moderna era desconocido y no se empleaba. Basándose en los resultados de aquel análisis, el mapa de Vinland fue declarado falso y los eruditos dejaron de tenerlo en cuenta.

No obstante, en 1987 el mapa fue sometido a análisis con métodos más modernos, entre ellos el bombardeo con protones en un haz muy estrecho. Los protones serían absorbidos y dispersados de maneras diferentes por diferentes elementos.

Empleando este método, los investigadores no encontraron titanio, por lo que se puso en duda la anterior conclusión.

La ausencia de titanio no demuestra por sí sola que el mapa sea auténtico, porque éste pudo ser falsificado con tinta que no contuviese titanio. Tampoco serviría de mucho someter el mapa a métodos como el de datación mediante el carbono 14 para establecer su antigüedad. Esto sólo nos daría la edad del pergamino. Podría ser muy bien que el pergamino fuese antiguo y que el dibujo se hubiese realizado en el siglo XX.

Pero ¿por qué habrían de ser tan escépticos los eruditos? Si no hay una prueba concluyente de que la tinta es moderna, ¿por qué no suponer que un geógrafo escandinavo recogió entre el año 1100 y el 1400 los informes de los capitanes vikingos y dibujó el mapa basándose en sus descripciones?

Lo malo es que el dibujo de Groenlandia, tal como aparece en el mapa de Vinland, es demasiado bueno. En el año 982, el vikingo Eric el Rojo descubrió Groenlandia y se establecieron colonias vikingas en la costa sudoeste. Estas colonias sobrevivieron a duras penas hasta cerca del 1400, y después Groenlandia fue olvidada hasta que en 1578 fue redescubierta por el explorador inglés Martin Frobisher en 1578. Esta vez tampoco se conoció más que la punta meridional.

Las costas del norte de Groenlandia no se exploraron hasta finales del siglo XIX. En 1892, el explorador americano Robert E. Peary (que después fue el primero en llegar al Polo Norte) exploró las costas más septentrionales y estableció que Groenlandia era una isla. Esto se llevó a cabo con extraordinarias dificultades.

Y sin embargo en el mapa de Vinland, presumiblemente dibujado al menos cinco siglos antes de Peary, Groenlandia aparece como una isla, y no sólo esto sino como una isla de forma bastante correcta. Incluso la península de Hayes, en el extremo nordeste (donde se encuentra ahora la base aérea de Thule) está representada con razonable exactitud.

Los eruditos modernos están seguros de que los marinos vikingos, por muy diestros que fuesen, no podían circunnavegar Groenlandia con los barcos que tenían, en medio

del hielo polar y sometidos a los rigores del clima. Ni hubiesen podido determinar las latitudes polares, aunque hubiesen conseguido hacer aquello.

Dicho en otras palabras, con independencia de la tinta, del pergamino y de todo lo demás, Groenlandia parece demasiado bien dibujada como para que el mapa de Vinland sea auténtico.

LA ISLA PERDIDA

A veces se pierden lugares muy famosos y hay que buscarlos con mucho cuidado. A veces se encuentran, y a veces no.

Hay una isla, sumamente importante para la historia de América, que se ha perdido y todavía la están buscando.

Parece imposible que se pierda un lugar, pero muchas veces ocurre. Por ejemplo, la Biblia dice que el Arca de Noé varó por fin «sobre las montañas de Ararat». Ararat es un antiguo reino al que los asirlos llamaron Urartu, y sabemos dónde estaba y dónde están aún sus montañas. Lo que no sabemos es a qué montaña en concreto pudo referirse la Biblia.

Hay una a la que llamamos Monte Ararat, pero esto no es más que una presunción, aunque a veces hay quienes van allí en busca del Arca.

También tenemos el caso de la ciudad de Troya, destruida por los griegos después de un famoso sitio de diez años.

Estaba en alguna parte del extremo nordeste de Asia Menor, pero durante muchos siglos la gente se preguntó dónde se hallaba exactamente e incluso si había existido. Por fin creyó haberla encontrado un arqueólogo alemán, Henrich Schliemann, y generalmente se acepta que fue así aunque no podemos tener la absoluta seguridad.

Una de las batallas más importantes que registra la Historia de Roma fue la de Zama, 202 a. de C., en la que el romano Escipión derrotó por fin al cartaginés Aníbal. Fue el final victorioso de una guerra que los romanos habían estado a punto de perder, por lo que hubiese sido lógico que se fijaran en Zama y que levantasen monumentos allí. Pero no lo hicieron, y aunque hoy sabemos cuándo se libró la batalla y qué ocurrió en ella, ignoramos dónde está exactamente Zama.

Pero ¿qué decir de aquella isla tan importante en la historia de América? Bueno, el 3 de agosto de 1492 Cristóbal Colón zarpó de España con tres carabelas para emprender el viaje más famoso de la Historia. Navegó con rumbo oeste durante siete semanas, y el 12 de octubre de 1492 avistó tierra en alguna parte entre las islas Bahamas.

La isla a la que arribó estaba habitada por gente a la que llamó «indios» (porque creía haber llegado a «las Indias», es decir, a Asia oriental). Los indios llamaban «Guanahaní» a la isla, o al menos así sonó el nombre a los oídos de los españoles; pero Colón no prestó atención a esto. Lo cierto es que ni entonces ni durante mucho tiempo importaron gran cosa los indígenas ni cómo llamaban a los sitios donde vivían. Colón puso a la isla el nombre de San Salvador, tomó posesión de ella en nombre de España, y después descubrió otras islas e hizo otros viajes.

En definitiva, Colón se convirtió en un gran héroe americano, y nosotros celebramos el Día de Colón cada 12 de octubre (o el lunes siguiente, si cae en domingo, para hacer un fin de semana de tres días). El 12 de octubre de 1992, celebraremos el quinto centenario de su desembarco en Guanahaní, y deberíamos hacer que la fiesta fuese sonada; pero lo curioso es que no sabemos exactamente en qué isla desembarcó Colón.

En realidad, durante mucho tiempo, no hubo en las Bahamas ninguna isla que llevase el nombre de Guanahaní o de San Salvador. En cambio hubo una isla llamada Watling's Island, por el nombre del pirata inglés John Watling. Tiene una extensión de unos ciento

cincuenta kilómetros cuadrados (casi tres veces mayor que Manhattan). Como está muy al este del archipiélago, se consideró posible que Colón hubiese hecho en ella su primera arribada. Por consiguiente se cambió su nombre por el de San Salvador, y ahora es considerada oficialmente como la primera isla donde desembarcó Colón.

Pero ¿lo es en realidad? Bueno, podríamos tratar de seguir la estela de Colón. Éste llevó un meticuloso cuaderno de bitácora de su viaje, anotando vientos, corrientes, singladuras, etcétera. Desgraciadamente, este cuaderno se ha perdido, pero se conserva todavía parte de una copia.

Dos oceanógrafos de Woods Hole en Massachusetts, Philip Richardson y Roger Goldsmith, han tratado de reconstruir el viaje empleando lo que queda del cuaderno y también el mejor conocimiento que tenemos de los vientos y las corrientes. Conociendo la velocidad de las carabelas y el rumbo que tomaron al zarpar de las islas Canarias, se podía calcular dónde hubiese debido estar el barco a primeras horas de la mañana del 12 de octubre.

Antes se habían realizado otros intentos en los que se habían hecho algunos arreglos para que el viaje terminase en San Salvador. Un intento realizado en 1986, sin arreglos, terminó a cuatrocientos ochenta kilómetros al oeste porque los cálculos de las velocidades y las corrientes y los vientos estaban equivocados. La brújula empleada por Colón es una de las cosas de las que Richardson y Goldsmith no estaban seguros. Colón anotó sus datos, pero la dirección en la que apunta la aguja de la brújula, desde un punto concreto de la superficie de la Tierra, varía de año en año, y no sabemos exactamente cuál debía ser aquella dirección en 1492, desde los diferentes lugares por los que pasó Colón.

Aun así, el cálculo lleva a un punto situado a unos siete kilómetros al sur de San Salvador. Esto hace que las probabilidades se inclinen a favor de esta isla. Sin embargo hay otra muy pequeña llamada Samana Cay a unos dieciocho kilómetros al sudeste del punto al que se supone que arribó. Es posible que fuese esta isla la primera a la que llegó Colón.

Pero lo más probable es que nunca lo sepamos con certeza, a menos que se invente una máquina del tiempo.

CUANDO LA TIERRA ERA DEMASIADO CÁLIDA Y DEMASIADO FRÍA

Si piensan ustedes que el clima en algún lugar de la Tierra no es demasiado bueno, piensen también que hay ocasiones en que es mucho peor, y que partes de la superficie terrestre se hacen absolutamente inhabitables.

Esto se debe a la diferencia entre la tierra y el agua. El agua tiene una capacidad calórica más alta que la tierra. Esto quiere decir que una cantidad dada de calor es absorbida por el agua con menos elevación de temperatura que la producida en tierra por la misma cantidad de calor. De manera parecida, si hace frío, el agua desprende calor, bajando su temperatura; pero si la tierra desprende la misma cantidad de calor, alcanza una temperatura considerablemente más baja.

Resultado de ello es que el mar es más frío que la tierra vecina en tiempo muy cálido, y más caliente que ésta en tiempo frío. Por consiguiente, el mar, cuando está próximo, ejerce una influencia moderadora sobre la temperatura de la tierra, de manera que el «clima oceánico» de las zonas costeras y de las islas tiende a ser más suave de lo que sería en otras condiciones.

Por otra parte, la tierra que está lejos del océano no tiene posibilidad de ver moderada su temperatura. En ella hace mucho calor en verano y mucho frío en invierno. Estas regiones tienen un «clima continental».

Cabría esperar que el Polo Norte y el Polo Sur fuesen las regiones más frías de la Tierra después de haber estado seis meses sin luz de Sol. Respecto al Polo Sur, esto es casi correcto, porque el Polo Sur está situado en un continente. Sin embargo, la temperatura más baja no es la del Polo Sur propiamente dicho sino la de una porción de la Antártida que está muy lejos del océano. Allí se han observado temperaturas de -54 °C (-128,6 F).

Ni la región ártica, ni el Polo Norte ni ningún lugar próximo a él ostentan el récord del frío. El Polo Norte está en el centro del océano Ártico, donde el agua modera la temperatura. La región más fría del norte está en Siberia central, lejos del océano y casi fuera del Círculo Polar Ártico.

La población de Verkhoyansk, en Siberia, ha experimentado temperaturas de -34,7 **°C** (-94 F) en pleno invierno. Por otra parte, aquella misma población puede tener en pleno verano temperaturas de hasta 37 °C (98 F). Esto significa que hay una diferencia entre ambos extremos de 89,6 °C (192 F) debido a que no existe allí el efecto oceánico. (En Estados Unidos hay lugares como Dakota del Norte donde hace mucho frío en invierno y mucho calor en verano.)

Pero los continentes no siempre han estado distribuidos como lo están ahora. Muy lentamente, son empujados aquí y allá por los movimientos de las enormes placas que constituyen la corteza de la Tierra. Durante larguísimos intervalos se juntan para formar un gran supercontinente llamado «Pangea» (de unas palabras griegas que significan «toda Tierra»). La última vez que esto ocurrió fue hace unos 255 millones de años, cuando los primitivos reptiles (antepasados de los dinosaurios y de nosotros) rondaban por la Tierra.

¡Imagínense Pangea! Era tres veces más extenso que Asia y todo de una pieza. Las partes centrales de Pangea estaban tal vez 3.000 kilómetros más lejos del océano que cualquier superficie terrestre actual.

Las regiones centrales, si estaban lo bastante al norte o al sur, en pleno invierno tenían que ser más frías que cualquier lugar de la Tierra hoy en día, y en pleno verano más cálidas que cualquier otro lugar.

Algunos científicos de la Applied Research Corporation, dirigidos por Thomas Crowley, crearon con ordenador un modelo del clima de Pangea e informaron de los resultados en la primavera de 1989.

Tal como se esperaba, los climas debieron ser terribles en su interior. En verano, las temperaturas alcanzarían normalmente los 46 grados °C (115 F), o incluso más, y en invierno andarían bastante por debajo de cero. Si imaginamos las partes de Pangea que debieron tener temperaturas tan malas o peores que las del centro-norte de Siberia y Canadá, resulta que estas regiones superduras de Pangea tenían una extensión al menos ocho veces mayor que la de aquellas regiones actuales de la Tierra.

Los lugares de Pangea que debieron de estar sometidos a las más altas temperaturas debían hallarse en lo que ahora son Brasil oriental y África centro-occidental. Y los sitios donde eran mayores las diferencias de temperatura entre el verano y el invierno debían corresponder a lo que es ahora África meridional.

Se han encontrado pocos fósiles en estas zonas; probablemente el clima era tan espantoso en Pangea central que la vida no podía soportarlo.

Esto es bastante probable porque Pangea central debía estar tan lejos del océano que las lluvias raras veces podrían alcanzarla, por muy fuerte que soplase el viento, y en consecuencia resultaría demasiado tórrida y seca para mantener la vida.

Así pues, fue una suerte que Pangea se rompiese (como siempre ha sucedido, más pronto o más tarde). Todos sus fragmentos tienen un clima más moderado que la propia Pangea, y las costas son siempre las más ricas en vida, y además con muchos continentes tiene que haber más costas que en un sólo supercontinente. Por consiguiente, la vida es hoy mucho mejor; lástima que hagamos tantas cosas para arruinarla.

LAS ERAS GLACIALES Y EL EFECTO MESETA

Uno de los eternos misterios de la historia de la Tierra es saber lo que produjo las eras glaciales, las idas y venidas de los grandes glaciares. En la primavera de 1989, William P. Ruddiman, de la Universidad de Columbia, y John E. Kutzbach, de la Universidad de Wisconsin, ofrecieron una posible solución del misterio.

En fecha tan lejana como 1920, un físico yugoslavo, Milutin Milankovich, expuso los hechos astronómicos del caso. La órbita de la Tierra cambia ligeramente en ciclos. Hay lentos aumentos y disminuciones en la inclinación del eje, en el grado en que la órbita de la Tierra no es del todo circular, en la posición del perihelio (máxima aproximación al Sol) de la Tierra, etcétera. El resultado de todas estas variaciones es un lento y ligero aumento y disminución de la cantidad de radiación que recibimos del Sol en un ciclo que dura unos 40.000 años. Dicho en otras palabras, cada 40.000 años la Tierra sufre una escasez de radiación que dura 10.000 años. La temperatura media baja un poco y se produce un «Gran Invierno».

Durante este Gran Invierno, los veranos, anormalmente fríos, no pueden fundir toda la nieve del invierno. Esta se acumula de año en año y los glaciares avanzan. Cuando pasa el Gran Invierno, los glaciares se retiran de nuevo.

Esto tiene su lógica, y el cuidadoso estudio de fósiles antiguos indica que realmente puede haber existido aquel ciclo de temperatura. Pero en tal caso hubiese debido existir durante miles de millones de años, y sin embargo las eras glaciales sólo han aparecido y desaparecido durante el último millón de años más o menos. Antes existió un período de al menos 250 millones de años en el que no hubo eras glaciales.

Parece que el Gran Invierno no es ordinariamente lo suficiente frío como para provocar una era glaciar. En los dos últimos millones de años, algo debió cambiar en la Tierra para hacer que los períodos fríos fuesen más eficaces. Los cambios no pudieron ser astronómicos sino que tuvieron que afectar a la Tierra misma. Las sospechas recaen sobre el lento movimiento de las placas tectónicas que constituyen la corteza terrestre, y en el consiguiente desplazamiento de los continentes.

En 1953, dos geólogos de la Universidad de Columbia, Maurice Ewing y William E. Donn, observaron que los continentes cambiantes debieron de cercar el Polo Norte hace sólo un par de millones de años, dejando el océano Ártico en el centro. El océano Ártico era una fuente de humedad, y nevó sobre vastas extensiones de Canadá y de Siberia. La nieve no se funde tan rápidamente en la superficie de la tierra como en la del agua. Por consiguiente, si son superficies de tierra las que rodean el Polo Norte, en vez del mar abierto, la nieve se acumula más fácilmente. Por esto las bajas temperaturas del Gran Invierno sólo produjeron las eras glaciales en el Hemisferio Norte, después de que los continentes quedasen colocados en su posición actual.

Pero Ruddiman y Kutzbach tienen ahora una teoría alternativa que resulta especialmente atractiva a los geólogos. Señalan que como resultado del movimiento de las placas, la masa de tierra a la que llamamos India, y que al principio era una gran isla, se acercó poco a poco al borde meridional del continente asiático. Al establecer el

contacto, la tierra se arrugó y elevó, formando la alta cordillera del Himalaya y la meseta tibetana.

De manera parecida, el continente norteamericano se movió hacia el oeste en el Pacífico, y las fuerzas de fricción arrugaron sus regiones occidentales y formaron la cadena de las Montañas Rocosas.

En los últimos 20 millones de años, parte del oeste de América del Norte se ha alzado un kilómetro y medio, y parte de la regiones del Himalaya se han elevado hasta cerca de cinco kilómetros.

Antes de estos cambios particulares, las masas de tierra del Hemisferio Norte eran relativamente planas, y los vientos podían circular con pocos obstáculos de oeste a este, alrededor del mundo.

Ruddiman y Kutzbach elaboraron unas simulaciones, por ordenador, del rumbo que seguiría el viento al elevarse en mesetas y cordilleras en regiones de Asia central y de América del Norte. Descubrieron que debido a la elevación de aquellas regiones, los vientos tendían a desviarse más que antes hacia el norte. Como resultado de aquellas desviaciones, las masas de aire se enfriaban y causaban temperaturas más bajas en las regiones al nordeste de las Rocosas y al norte del Himalaya.

Al bajar las temperaturas disminuía la cantidad de nieve que se fundía en verano, y el Gran Invierno atacaba con más fuerza. Por fin, en los dos últimos millones de años, las mesetas y las montañas se habían elevado considerablemente y la desviación del viento había sido lo suficiente pronunciada como para producir un efecto de enfriamiento que en el Hemisferio Norte había dado lugar a una era glacial durante el Gran Invierno.

Si es así, cabe esperar futuras y periódicas eras glaciales hasta que las Rocosas y el Himalaya se hayan desgastado lo suficientemente como para perder eficacia como desviadoras del viento. A menos, claro está, que el «efecto invernadero» producido por el hombre ponga fin a las eras glaciales y ocasione otras catástrofes de distinto tipo.

MISTERIOS DE LA LUNA, HISTORIA DE LA TIERRA

Hace veinte años, el 20 de julio de 1969, los seres humanos pisaron por primera vez un mundo diferente de la Tierra. Neil Armstrong descendió a la superficie de la Luna y dijo; «Éste es un paso pequeño para un hombre, pero un salto de gigante para la humanidad.»

Durante unos pocos años se llevaron a cabo otras cinco visitas a la Luna, y entonces cesaron de repente. Nadie ha vuelto a pisar la Luna desde hace diecisiete años. Por esto, al cumplirse el vigésimo aniversario de aquel primer alunizaje podríamos preguntarnos: ¿Para qué sirvió todo aquello? ¿Sacamos alguna ventaja? ¿Fue realmente un salto de gigante?

Pues sí; los alunizajes nos ofrecieron una valiosa ocasión de aprender algo sobre su –y nuestro– pasado remoto.

En realidad la Tierra, la Luna y todo el sistema solar, empezaron a existir hace unos 4.600 millones de años. Podemos aprender algo sobre el pasado remoto de la Tierra estudiando sus formaciones rocosas. Naturalmente, cuanto más vieja sea la roca y más tiempo haya existido sin cambiar en la corteza terrestre, más lejos podremos llegar en nuestro conocimiento.

Sin embargo, la expresión clave es «sin cambiar». Las rocas no permanecen eternamente iguales. La corteza de la Tierra se mueve y las rocas son aplastadas, fundidas y formadas de nuevo. Incluso cuando no se funden, la fuerza del aire y el agua en movimiento producen cambios en ellas. Y la propia vida transforma enormemente el paisaje.

Resultado de ello es que las rocas más antiguas que podemos encontrar tienen poco más de 3.000 millones de años, y lo cierto es que no abundan. Nos resulta difícil llevar tan atrás nuestro conocimiento de la historia de la Tierra, y en cuanto a los primeros 1.500 millones de años de existencia de la Tierra, podemos olvidarnos de ellos. Están completamente en blanco y continuarán estándolo mientras sigamos aprisionados en la Tierra misma.

En cambio, la Luna es un cuerpo más pequeño. Su fuerza de gravedad es insuficiente para retener una atmósfera o cualquier líquido que se evapore fácilmente. Esto quiere decir que en la Luna no hay aire, agua ni vida. Y no sólo no los hay ahora sino que nunca los ha habido. Lo cual significa que la superficie no ha sido alterada por la acción de la vida, por el viento ni por las olas. Más aún, por ser un cuerpo más pequeño que la Tierra, la Luna tiene menos calor interno, y es el calor interno lo que hace que se mueva y cambie la corteza, aunque nada más la haga cambiar. Dicho en otras palabras: si la Tierra está geológicamente viva, la Luna está geológicamente muerta.

Esto significa que la superficie de la Luna puede continuar inmutable durante mucho más tiempo que la de la Tierra, y que las rocas que trajeron los astronautas de la Luna son mil millones de años más viejas que las más viejas que podemos encontrar en la superficie de la Tierra. Podemos llenar mil millones de años de historia primitiva sobre los que la Tierra guarda silencio.

Actualmente se cree que la Luna fue creada cuando muy al principio de la historia de la Tierra chocó contra el planeta un objeto de un tamaño aproximado al de Marte. Esto proyectó una gran cantidad de superficie de la Tierra al espacio próximo, mientras el cuerpo extraño se fundía con la Tierra.

El material lanzado al espacio se convirtió en vapor por efecto del calor, pero después se enfrió en una masa de innumerables partículas de diferentes tamaños, que se unieron y constituyeron la Luna. Debido a que ésta se formó de capas exteriores de la Tierra, es casi totalmente rocosa y contiene muy poco hierro, como el que se encuentra en el núcleo de la Tierra. Por esto la Luna es menos densa que la Tierra.

La Luna tardó unos pocos cientos de años en enfriarse lo suficiente como para tener una corteza sólida, pero hace unos 4.000 millones de años, la corteza se había formado ya, y las rocas más antiguas que fueron traídas de allí datan de aquel período.

En los últimos 4.000 millones de años, los únicos cambios significativos experimentados por la Luna tuvieron lugar cuando atrajo los restantes objetos que aún existían cerca de ella. Éstos formaron los numerosos cráteres y los vastos «mares» que hoy cubren su superficie. En las rocas que se han traído a la Tierra podemos estudiar las diferentes fases de este bombardeo. Desde luego, la historia primitiva fue la más activa porque todavía había allí muchos objetos que chocaron con la Luna.

Con el paso del tiempo, el espacio quedó despejado de la mayoría de aquellos objetos y la Luna se estabilizó y fue sufriendo menos cambios. Desde hace unos 3.200 millones de años, las rocas permanecen relativamente tranquilas, tanto en la Tierra como en la Luna, pues ambas fueron bombardeadas.

Pero si en la Tierra desaparecieron los cráteres producidos por aquel bombardeo, gracias al viento, a las olas y a la vida, en la Luna todavía se conservan.

Sin embargo, en la Luna se han producido cambios relativamente recientes. El cráter Copernicus se formó hace 810 millones de años, y el espectacular cráter Tycho hace sólo 109 millones de años. Algunos cráteres pequeños se formaron mucho mas recientemente: hace tan sólo dos millones de años.

Si volviésemos a la Luna, aparte de su utilidad como observatorio, reserva de minerales y nuevo hogar para seres humanos, podríamos estudiar cuidadosamente su superficie y conocer todos los detalles de su historia, y partiendo de esto deducir lo que

también ocurrió en la primitiva Tierra. Las claves que encontrásemos allí podrían ayudarnos a comprender cómo empezó la vida en nuestro planeta y cómo llegamos a existir todos nosotros.

IV. FRONTERAS DEL ESPACIO

LA CORTEZA DIVIDIDA

La Tierra es única entre los cuerpos del sistema solar.

Prescindamos del Sol y de los cuatro planetas gigantes –Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno– todos los cuales están constituidos principalmente por los gases hidrógeno y helio.

Aparte de estos mundos gaseosos, todos los cuerpos del sistema solar –planetas, satélites, cometas, asteroides, meteoritos– están constituidos por sustancias heladas, rocosas o metálicas, o por alguna combinación de ellas.

De todos estos cuerpos, la Tierra es el más grande. Es el único lo suficientemente cálido como para tener océanos de agua líquida, pero no tanto como para que los mares hiervan.

Es el único cuerpo con una atmósfera que contiene oxígeno libre.

Desde luego hace mucho tiempo que conocemos las dimensiones de la Tierra, los océanos y el aire. Pero hay otro aspecto en que la Tierra puede ser única y que sólo conocemos desde hace un cuarto de siglo.

Como la Tierra es el más grande de los mundos no gaseosos, tiene una temperatura interior más alta que cualquier otro planeta, y por consiguiente la corteza más delgada. Más aún, debido a la elevada temperatura interior de la Tierra hay allí una gran cantidad de energía que puede comportarse como un potente motor térmico, mucho más que los otros cuerpos más pequeños e interiormente más fríos del sistema solar.

El resultado de ello es que la fina corteza de la Tierra está dividida en media docena de grandes pedazos (y varios más pequeños) llamados «placas». Estas placas se hallan estrechamente unidas, como ensambladas por un hábil carpintero. Por eso reciben el nombre de «placas tectónicas» («tectónica» es un derivado de una palabra griega que significa «carpintero»).

La materia rocosa de debajo de la corteza está lo bastante caliente como para poder moverse en lentos remolinos, y este movimiento empuja las placas en distintos puntos. Algunas placas contiguas son separadas lentamente, dejando una cuenca que se llena de agua, formando poco a poco un océano. El océano Atlántico se formó de esta manera en los últimos 200 millones de años.

Dos placas pueden ser juntadas y arrugadas. De esta manera se formaron las tierras altas y las cordilleras. Los montes del Himalaya y la meseta tibetana se formaron cuando al chocar dos placas empujaron la India al interior de Asia. O una placa puede introducirse debajo de otra, dando origen a profundidades oceánicas. En los límites donde se juntan las placas, hay líneas débiles donde se manifiestan los volcanes y los terremotos. La falla de San Andrés puede ser el más conocido de estos limites. Mucho de lo que sabemos de la Tierra tiene su explicación en estas placas, pero su existencia no fue descubierta hasta principios de los años sesenta.

Los cuerpos más pequeños que la Tierra tienen menos calor en su interior, y por consiguiente sus cortezas son más gruesas. Éstas no se resquebrajan, de manera que constituyen como una placa que ciñe todo el mundo. La Luna, Mercurio y Marte son mundos de una sola placa, y por consiguiente geológicamente muertos, al menos en comparación con la Tierra. Sin embargo, Marte tiene volcanes. Aunque ahora parecen extinguidos, tiempo atrás debieron estar en actividad.

En la Tierra tenemos líneas de volcanes. Al moverse las placas, aparecen nuevos volcanes en nuevos lugares, produciendo consecuencias tales como la cadena de islas volcánicas que constituyen Hawai. En cambio, en Marte, donde no hay movimientos de

placas, los volcanes se agrupan y constituyen monstruos mucho más grandes que cualquiera de los que tenemos en la Tierra. (El satélite Io tiene volcanes activos, pero la energía es aportada por el efecto de marea del gigantesco y próximo Júpiter.)

Pero ¿qué decir de Venus? Venus es más pequeño que la Tierra, pero no mucho. Tiene aproximadamente el 81,5 por ciento de la masa de la Tierra. Hasta hace unos diez años la superficie de Venus estaba oculta para nosotros por una eterna capa de nubes. Pero ahora podemos estudiarla gracias al radar, que puede penetrar a través de las nubes.

Las ondas de radar son mucho más largas que las luminosas, por lo que no muestran tan vivamente los detalles: pero los primeros estudios por radar, en 1978, ya mostraron que Venus tenía grandes áreas de tierras altas que se parecían a continentes de la Tierra, y áreas todavía más grandes de tierras bajas que daban la impresión de que podían haber contenido mares en tiempos remotos. Como la temperatura de la superficie de Venus está ahora muy por encima del punto de ebullición del agua, cualquier océano que hubiese habido allí se habría evaporado hace miles de millones de años.

Los rusos (que se han especializado en Venus) han conseguido recientemente fotografías por radar, de mucha mejor calidad. Estas muestran cráteres en Venus que por su aspecto parecen tener de quinientos a mil millones de años de antigüedad. Esto habla en contra de las placas tectónicas, pues los movimientos de éstas en la Tierra cambian continuamente su superficie. El 60 por ciento de la superficie de la Tierra tiene menos de 200 millones de años.

Por otra parte, hay muchos indicios de que puede haber movimientos de placas en Venus. Existen montañas donde pudieron juntarse placas, y grietas donde éstas pudieron separarse. Necesitamos imágenes mejores y estudios más precisos, pero parece que Venus es un caso intermedio. Puede tener placas tectónicas, pero éstas son probablemente mucho menos activas que las nuestras. Por consiguiente, la Tierra también puede considerarse un caso único respecto a las placas.

EXPLOSIÓN SOBRE SIBERIA

Los científicos todavía se preguntan sobre un incidente que tuvo lugar en Siberia central hace más de ochenta años.

Aun están curioseando en la zona e incluso hoy descubren nuevas pruebas con referencia al mismo.

El 30 de junio de 1908 se iluminó el cielo sobre Siberia central, cerca del río Tunguska, y hubo una terrible explosión.

Cientos de kilómetros cuadrados de bosque fueron arrasados; no quedó un solo árbol en pie. Una manada de renos resultó aniquilada.

Afortunadamente no vivía nadie en muchos kilómetros a la redonda del lugar de la explosión, y por ello no resultó muerto ningún ser humano. Pero una persona que se hallaba a ochenta kilómetros de distancia fue lanzada de su carro por la onda expansiva y otros observadores lejanos vieron, oyeron y sintieron los efectos.

Los científicos tardaron mucho tiempo en llegar a aquel lugar casi inaccesible. Y no les ayudó a ello el estallido de la Primera Guerra Mundial, seguida de años de revolución y de guerra civil en Rusia. Hasta bien entrados los años veinte no llegaron al fin los investigadores rusos al lugar del suceso.

Entonces empezó el verdadero misterio. Todo el mundo suponía que había caído sobre Siberia un gran meteorito, que podía pesar desde 100.000 hasta varios millones de toneladas.

Podía haber sido un pedazo de roca de unos 75 metros de ancho o un pedazo de mineral de hierro de 25 metros. En todo caso y como había llegado a la Tierra a una velocidad de unos treinta kilómetros por segundo, habría causado el mismo destrozo que una bomba de hidrógeno de gran tamaño (menos la lluvia radiactiva, desde luego).

Semejante impacto habría abierto un gran cráter y hundido quizás el meteorito bajo tierra, o sembrado pedazos de hierro o de roca meteórica en los alrededores. Los investigadores encontraron el lugar exacto del impacto, ya que todos los árboles destrozados habían sido lanzados lejos de él, pero allí no había ningún cráter ni pedazos de meteorito.

La única conclusión lógica era que la explosión no se había producido al chocar un cuerpo contra el suelo, sino en el aire, tal vez ocho kilómetros por encima de aquél. En otras palabras, el objeto no habría llegado al suelo sino que se habría desintegrado simplemente en la atmósfera. Lo cierto es que la explosión había producido ondas en la atmósfera que se habían detectado en todas las partes del mundo.

Sin embargo, ésta habría sido una reacción muy extraña de un meteorito. La piedra o el metal no estallan sin más ni más en el aire. ¿Y si no se hubiese tratado de piedra ni de metal ni de un meteorito ordinario? Habría podido ser un cometa pequeño, de unos noventa metros de diámetro, o un fragmento de otro más grande.

Los cometas están formados sobre todo por materiales congelados, en especial de agua helada. Al pasar a través de la atmósfera, la resistencia del aire elevaría su temperatura. La piedra o el metal resplandecerían, y veríamos una «estrella fugaz». Sin embargo, el hielo se evaporaría. Si el cometa se calentase mucho y con rapidez, la súbita evaporación podría producir una explosión enorme, desparramando todos los fragmentos del cometa que no hubiesen podido evaporarse.

Los gases resultantes (sobre todo vapor de agua) se expandirían a través de la atmósfera. Nada llegaría al suelo, salvo la onda expansiva, y no habría ningún cráter ni fragmentos de meteorito.

Parecía una explicación totalmente satisfactoria. Desde luego se expusieron otras teorías sobre el incidente del Tunguska. Podía haber sido un pedazo pequeño de antimateria que hubiese estallado al chocar con la materia ordinaria de la corteza terrestre, sin dejar rastro. O podía haber sido una nave espacial nuclear de otro mundo, que hubiese estallado. Pero estas explicaciones alternativas no fueron tomadas en consideración.

Sin embargo, a primeros de 1987, un grupo de investigadores soviéticos dijeron que habían detectado cantidades anormalmente altas de metal de iridio en tierra extraída del lugar del impacto. El iridio es raro en la corteza terrestre, pues casi todo él se encuentra en el núcleo central de la Tierra. Existe en cantidades considerablemente mayores en los meteoritos, por lo que la presencia de cantidades mayores de lo normal en la corteza se considera resultado de un impacto meteórico. En cambio, los cometas no contienen cantidades apreciables de iridio. Así pues, el nuevo descubrimiento soviético parece indicar que el suceso del Tunguska fue causado por un meteorito y no por un cometa.

Entonces, ¿dónde está el cráter? Los investigadores soviéticos sugieren que el objeto invasor fue un cometa rodeado de un material polvoriento rico en iridio. Esto explicaría la presencia de iridio y la ausencia de un cráter. Pero no todo el mundo está dispuesto a aceptar esto. El suceso sigue siendo un enigma que se presta a las conjeturas más disparatadas.

Podemos establecer dos puntos. Primero: Siberia central es casi el único lugar del mundo donde podía ocurrir un suceso de esta naturaleza sin causar víctimas humanas. Si hubiese ocurrido en el mar, habría provocado maremotos. Y si hubiese sucedido en cualquier otra parte de la Tierra, tal vez habría muerto una enorme cantidad de gente.

Segundo: supongamos que un suceso semejante ocurriese ahora en la Unión Soviética o en Estados Unidos. La explosión podría ser tomada por una bomba nuclear enemiga y provocar una represalia inmediata, con el consiguiente e indescriptible horror.

EL COMETA HALLEY

Para los astrónomos, 1986 fue el año del cometa Halley.

Las sondas enviadas a su encuentro permitieron fotografiar un cometa y estudiarlo de cerca, por primera vez en la Historia.

¿Por qué nos tomamos este trabajo, y qué descubrimos?

Los astrónomos están interesados en conocer detalles de cómo se formó el sistema solar. Esto nos ayudaría a comprender cómo se formó la Tierra y cómo empezó a existir la vida.

Lo malo es que lo único que tenemos para trabajar con ello es lo que podemos descubrir ahora sobre el Sol y los planetas.

Todos estos cuerpos tienen 4.600 millones de años y han sufrido enormes cambios. Por ejemplo, los cuerpos próximos al Sol (tales como la misma Tierra) han estado supercalentados durante miles de millones de años y han perdido el material de fácil evaporación que podía haber constituido la mayor parte de su estructura original. Si sólo estudiamos la Tierra, sólo podremos suponer cómo era ésta al principio de su formación.

Los cuerpos que están más lejos del Sol es probable que hayan cambiado menos; pero debido a su distancia no pueden estudiarse fácilmente.

Los objetos más lejanos son los cometas. Cien mil millones de ellos, o más, giran lentamente alrededor del Sol a distancias de uno o dos años luz, miles de veces más lejos del Sol que el planeta ordinario más lejano. A tales distancias no podemos estudiarlos, ni siquiera verlos; sólo podemos sospechar su existencia partiendo de indicios indirectos. Sin embargo, de vez en cuando la atracción gravitatoria de astros más próximos impulsa a algunos de estos cometas hacia el interior del sistema solar y la vecindad del Sol, Entonces sí podemos estudiarlos.

Los astrónomos han puesto el mayor empeño en averiguar la composición química de la nube original de polvo y gas a partir de la que se formaron los planetas. Un cometa está hecho de aquel polvo original y de los gases que se han congelado alrededor de las partículas de polvo. Aquel hielo se evapora cuando el cometa Halley se acerca al Sol, y si analizamos los gases que se producen tendremos muestras de la materia original a partir de la que se formó el sistema solar.

Estos gases fueron realmente analizados por las sondas y resultaron tener identidades y estar presentes en proporciones muy próximas a las que sospechaban los astrónomos. Esto fue una gran noticia. Es útil deducir una posibilidad lógica de pruebas indirectas, pero lo es mucho más confirmar aquellas posibilidades con mediciones reales y directas. Ahora pueden deducir los astrónomos los detalles de cómo empezamos, con mucha más seguridad, y avanzar con más audacia.

Pero el cometa Halley no se limitó a confirmar cosas que habían sospechado los astrónomos. Al menos nos dio una gran sorpresa: resultó ser de color negro.

En 1951, Fred Whippel, el más importante especialista en cometas, de los astrónomos vivos, había expuesto sus razones para creer que los cometas eran «bolas de nieve sucia». Es decir, que estaban formados por materiales congelados –principalmente agua helada– con una mezcla de polvo que constituía la «suciedad». Esto fue

confirmado por los estudios de cerca del cometa Halley. Cinco sextas partes de éste son de agua congelada. Cabe suponer que lo mismo ocurre en los otros cometas.

Naturalmente, cuando un cometa se acerca al Sol, parte de este hielo (y de otros materiales congelados) se evapora y desaparece, pero queda una gran cantidad de polvo. La superficie tiende a cubrirse de una capa de polvo cada vez más espesa, que oscurece el cometa. Por consiguiente, los astrónomos creyeron que los cometas debían ser grisáceos, pero no esperaban un negro absoluto.

En la creencia de que se trataba de un cometa de color claro que reflejaba la mayor parte de la luz que incidía sobre él, los astrónomos calcularon que el cometa Halley debía tener seis kilómetros y medio de diámetro. Pero resulta que es negro y que refleja muy poca luz. Al ser tan brillante como es, tiene que ser mucho más grande y en realidad unas mediciones más exactas indican que debe tener unos dieciséis kilómetros de diámetro. Contiene doce veces más material de lo que creían los astrónomos.

Hay que suponer por tanto que los cometas generalmente son mucho mayores de lo que se pensaba. Se creía que el cinturón de cometas que existe aproximadamente a uno o dos años luz del Sol tenía una masa total equivalente al doble de la de la Tierra. Pero podría ser que la masa total de cometas existentes muy lejos del Sol fuese como mínimo veinticinco veces mayor que la de la Tierra.

Muchos astrónomos creen que en los primeros tiempos del sistema solar hubo un gran número de colisiones entre cometas y los cuerpos planetarios. Con la nueva información que poseemos, al parecer tales colisiones fueron más fuertes y devastadoras de lo que se creía. Probablemente la Tierra estaba muy seca y cálida, y las colisiones con los cometas debieron proporcionarnos buena parte de nuestros mares y nuestra atmósfera. Esto parece ahora más verosímil. También es más verosímil que colisiones con los cometas puedan producir periódicas olas de extinción de la vida y que fuesen las causantes de la desaparición de los dinosaurios. Todo esto podemos deducirlo ahora como resultado de haber estudiado de cerca el cometa Halley en 1986.

NUEVOS DATOS SOBRE EL COMETA HALLEY

Ahora resulta que la especie humana ha estado en este barrio de la galaxia mucho más tiempo que el cometa Halley, según han declarado tres astrónomos canadienses encabezados por J. Jones. Los astrónomos llegaron a esta conclusión a principios de 1989.

Desde luego el cometa Halley, como todos los cometas, es tan viejo como todo el resto del sistema solar: 4.600 millones de años de antigüedad. Los astrónomos creen que cientos de miles de millones de cometas forman un cinturón, en órbita alrededor del Sol, situado a mucha mayor distancia que Plutón. Los cometas son de hielo y están constituidos principalmente por agua congelada y polvo granuloso. Sin embargo, más allá de Plutón, la temperatura es sólo de unos pocos grados sobre el cero absoluto. Allí los cometas duran sin sufrir cambios muchos miles de millones de años.

Pero de vez en cuando ocurre algo que envía ocasionalmente un cometa al interior del sistema solar. Tal vez chocan dos de ellos y uno cae hacia el Sol; o tal la causante es la fuerza de gravedad de un astro que pasa.

El cometa que cae de la nube y penetra en el sistema solar tiene una parte de su órbita bastante cerca del Sol. A los objetos grandes, como la Tierra y Venus, no les preocupa estar tan cerca del Sol. La Tierra está compuesta principalmente de metales y roca, y no es afectada por el calor solar. Pero los cometas son pequeños y gélidos. El hielo de que están hechos se evapora. El polvo que contienen es liberado, forma una neblina

alrededor del cometa y es arrastrado hacia atrás por el «viento solar» (flujos de veloces partículas cargadas que emergen del Sol) en una larga cola.

Es una vista espectacular cuando está bastante cerca de la Tierra y bastante alto en el cielo, pero desde luego nunca recobra el vapor del polvo que ha perdido. La próxima vez que en su larga órbita el cometa regresa a las proximidades del Sol, es más pequeño que la vez anterior, y todavía pierde más materia.

Los astrónomos han observado el final de algunos pequeños cometas. Algunos se han partido en dos o más fragmentos, que finalmente han desaparecido. Otros han caído dentro del Sol.

Sin embargo, aunque el polvo de roca no vuelve nunca al cometa, tampoco desaparece ni se aniquila, sino que sigue girando alrededor del Sol en una órbita larga, como los cometas. Son los «enjambres de meteoritos». De vez en cuando la Tierra cruza la órbita de uno de estos enjambres y numerosas estrellas fugaces brillan en el cielo.

Una vez, en noviembre de 1833, las estrellas fugaces fueron tan numerosas en el cielo de Nueva Inglaterra que pareció que estaba nevando. Este polvo meteórico no es dañino; incluso puede ser beneficioso porque aporta núcleos a las gotas de agua, y por tanto favorece las lluvias.

El paso de la Tierra a través de los enjambres de meteoritos nos dice dónde están localizados éstos y cuáles pueden ser sus órbitas, y así podemos identificar algunos de ellos con los cometas de los que proceden. Uno de estos enjambres tuvo su origen en el cometa Halley y se extendió hacia fuera a través de su órbita. La Tierra lo atraviesa dos veces al año, una de ellas por un lado de la órbita terrestre y la otra por el otro lado.

Los tres astrónomos canadienses han estudiado este enjambre de meteoritos, empleando un ordenador para crear un modelo de lo que ocurre con multitud de partículas simuladas.

De esto han podido deducir que el cuerpo principal de este enjambre de meteoritos tiene 60 millones de kilómetros de largo por 6 millones de kilómetros de ancho.

Partiendo de esto y del número de partículas de cada pequeño fragmento del enjambre, sacaron la conclusión de que el material total de éste pesa aproximadamente 1.300 millones de toneladas. Y todo procede del cometa Halley.

No sabemos con seguridad cuál es la masa del cometa Halley; pero por las observaciones hechas por una sonda durante el último viaje del cometa por el sistema solar interior, en 1986, parece que el polvo del enjambre meteórico representa la décima parte de la masa total del cometa. Y lo que es más, el cometa está compuesto principalmente por hielo, y en los enjambres de meteoritos no se observa vapor de agua. Si consideramos la pérdida de vapor, además de la de polvo, la masa del enjambre parece indicar que ha desaparecido de un cuarto a un tercio del cometa Halley primitivo.

Una vez establecido esto (desde luego las cifras son sólo aproximadas), se puede calcular la masa que debe perder el cometa Halley cada vez que pasa cerca del Sol, y por consiguiente cuántas pasadas ha hecho desde que fue atrapado, de alguna manera, en su órbita actual.

Los astrónomos canadienses han calculado que el cometa Halley cayó de su lejana nube hace unos 23.000 años, y que en este tiempo ha descrito unas trescientas órbitas con un período de 76 años. Por tanto los seres humanos pueden haber observado trescientas veces el mismo cometa en el cielo (en ocasiones más espectacular que en otras, desde luego). Pero el *Homo sapiens* hace probablemente 50.000 años que existe sobre la Tierra, y esto significa que durante más de la mitad del tiempo de existencia de nuestra especie nadie había visto nunca el cometa Halley (aunque desde luego otros cometas iluminaron indudablemente el cielo).

Más aún, el cometa Halley sigue perdiendo masa y probablemente esta pérdida es mayor cada vez que pasa, al hacerse más pequeño. Es posible por tanto que no dure para otras trescientas órbitas, y naturalmente cada vez será menos espectacular. Llegarán otros cometas, pero la humanidad habrá perdido a su vecino más joven.

LA MOLÉCULA MÁS GRANDE

Cuando en 1986 los científicos tuvieron ocasión de observar el acercamiento del cometa Halley (que se produce cada setenta y seis años), por medio de sondas espaciales, mejoró mucho nuestro conocimiento de la composición del cometa y de su verdadero aspecto. Una de las cosas que descubrieron las sondas puede ayudar realmente a resolver uno de los enigmas sobre cómo empezó la vida en la Tierra.

Como sabemos, el átomo de carbono es esencial para la vida. El tejido vivo está hecho de grandes y complicadas moléculas (es decir, combinaciones de átomos) que contienen carbono, tales como las de las proteínas y los ácidos nucleicos.

Siempre se ha supuesto que la Tierra, en sus primeras fases, contenía sólo moléculas muy sencillas con carbono, tales como el metano (un átomo de carbono y cuatro de hidrógeno) y el dióxido de carbono (un átomo de carbono y dos de oxígeno). El problema ha sido averiguar cómo se formaron las grandes y complejas moléculas ahora existentes con aquéllas tan sencillas del principio. Y aún no se ha encontrado una solución completamente satisfactoria.

Pero ¿sabemos con seguridad cuáles fueron los primeros materiales? La Tierra (junto con el Sol y todos los demás planetas) se formó, hace unos 4.600 millones de años, a partir de una gran nube de polvo, y no sabemos a ciencia cierta en qué consistía aquella nube. Como máximo, los científicos están seguros de que había en ella hidrógeno y helio, pues de esto están compuestos el Sol y los planetas gigantes. Pero también debía contener pequeñas cantidades de átomos de carbono, o no habría existido la vida en la Tierra. Ahora bien, ¿en qué forma existían aquellos átomos de carbono?

Hay muchas nubes de polvo en el espacio, algunas de ellas en el proceso de formación de estrellas. ¿De qué materiales están compuestas estas nubes?

No hubo esperanza de tener respuesta a esta pregunta hasta hace un cuarto de siglo, cuando se perfeccionaron los radiotelescopios. Cada tipo de molécula emite ondas de radio de determinadas longitudes de onda. Estas actúan como una especie de huellas dactilares que pueden detectarse por medio de los radiotelescopios.

Los átomos están tan dispersos en el espacio entre los astros, e incluso en las nubes de gas, que los astrónomos creían que las colisiones serían muy raras. Pensaban por tanto que todas las moléculas que hubiese allí se compondrían de dos átomos como máximo. Pero en 1968, y para su gran asombro, descubrieron, gracias a las ondas de radio, señales de la presencia de moléculas de agua (compuestas de tres átomos) y de amoníaco (compuestas de cuatro átomos).

De hecho, ahora han descubierto decenas de moléculas diferentes en las nubes de gas, algunas de ellas demasiado inestables para existir en la Tierra. Algunas de estas moléculas se componen nada menos que de trece átomos. Aún sigue siendo objeto de debate el saber cómo pudieron juntarse todos estos átomos, estando tan dispersos.

Una cuestión importante es que toda molécula de más de cuatro átomos contiene uno o más de carbono. En el espacio, como en nuestros cuerpos, las moléculas complicadas están compuestas de átomos de carbono.

Pero ¿no podría haber en las nubes de polvo moléculas con carbono todavía más complicadas que las que hemos descubierto hasta ahora? Parece muy probable. Cuanto más complicada es una molécula, más rara es y más difícil resultaría detectarla. Las

verdaderamente complicadas aún no habrían sido detectadas. En realidad puede que nunca lo sean pues las nubes de gas están muy lejos. Pero algo más próximo podría darnos una clave.

Cuando nuestra propia nube de gas formó el sistema solar, todos los objetos resultantes contenían toda clase de moléculas complejas que habían estado presentes en la nube. Pero tales moléculas habrían sido rotas por el calor y otros factores en el curso de la formación de cuerpos grandes.

Sin embargo, en las cercanías de la nube, la mayor parte de la materia debió agruparse en miles de millones de pequeños fragmentos de material congelado en cuerpos de sólo unos pocos kilómetros de diámetro. En objetos tan pequeños, y a tantos miles de millones de kilómetros del Sol en formación, las moléculas complejas podían conservarse indefinidamente.

En ocasiones, uno de estos fragmentos lejanos de materia penetra en el sistema solar interior, y el calor del Sol evapora partes de él. Entonces se hace visible como un cometa.

Por esta razón el polvo y los gases que rodean a un cometa al pasar por nuestra proximidad pueden contener moléculas interesantes. Las sondas, sobre todo la europea llamada Giotto, que fue la que pasó más cerca del cometa Halley, dieron pruebas de ello.

Walter E. Huebner, del Laboratorio Nacional de Los Álamos, Nuevo México, ha informado que Giotto detectó en el cometa Halley un «polímero», una combinación de moléculas de formaldehído (hace tiempo que se sabe que existen en el espacio) en una cadena infinitamente larga. Tales cadenas contribuyen a explicar la sorprendente oscuridad de la superficie del cometa, y pueden haber existido en la nube de polvo de la que se formó originalmente aquel cometa (y la Tierra).

Entonces, ¿no es posible que al formarse la Tierra algunas moléculas complejas se librasen de la destrucción y persistieran en lugares aislados? Si realmente fuese así, la vida no habría tenido que empezar a formarse necesariamente de simples compuestos de carbono, desde el mismísimo comienzo sino que pudo haber recibido un fuerte impulso. Algunas de las moléculas complejas necesarias para la vida pudieron existir ya en la nube de polvo en los tiempos de formación de la Tierra. En tal caso esto podría hacer más comprensible el proceso de los orígenes de la vida.

NUESTRO GEMELO

En enero de 1989 se hicieron algunas nuevas deducciones sobre la naturaleza de los volcanes de Venus. En definitiva, estos hallazgos pueden contribuir a arrojar alguna luz sobre nuestro propio planeta, la Tierra.

Hasta hace unos treinta y cinco años, no se sabía absolutamente nada sobre los detalles de la estructura de otros mundos, ni siquiera de nuestra propia Luna. Desde entonces hemos aprendido muchísimo gracias a la astronomía radar y a las sondas interplanetarias, pero continuamos sintiendo una gran curiosidad por Venus.

La razón se debe a que en algunos aspectos Venus es más parecido a la Tierra que cualquier otro planeta. Si la Tierra tiene un diámetro de 12.680 kilómetros, el de Venus es de 12.080. Venus tiene aproximadamente el 81 por ciento de la masa de la Tierra, el 94 por ciento de su densidad, y una estructura parecida a la de la Tierra, con una capa rocosa exterior y un núcleo metálico líquido. Es casi como un hermano gemelo, salvo que...

La Tierra gira alrededor de su eje, de oeste a este, en veinticuatro horas; en cambio Venus gira de este a oeste en 244 días. Venus tiene una atmósfera aproximadamente

noventa veces más densa que la de la Tierra, con un 95 por ciento de dióxido de carbono y ningún oxígeno, mientras que la nuestra tiene sólo un 0,03 por ciento de dióxido de carbono y un 21 por ciento de oxígeno. La temperatura de la superficie de la Tierra es de unos 300 grados sobre el cero absoluto, y la de Venus de más de 700, la suficiente para fundir el plomo.

Venus no tiene agua en su superficie y la Tierra la tiene a mares.

Y desde luego la Tierra es rica en vida, y Venus no la tiene en absoluto. Si pudiésemos saber por qué pueden parecer dos planetas idénticos en algunos aspectos y tan diferentes en otros, podríamos comprender muchas más cosas sobre Venus y la Tierra.

Una de las cosas que sabemos de Venus es la naturaleza de su superficie rocosa. Las sondas soviéticas han aterrizado varias veces en su hostil superficie y han descubierto que uno de los principales componentes químicos de ésta es el carbonato cálcico, lo cual no es sorprendente. Cuando el carbonato cálcico está caliente tiende a romperse y a liberar dióxido de carbono, por lo que un planeta calentado con mucho carbonato cálcico en su superficie rocosa tendrá con toda seguridad grandes cantidades de dióxido de carbono, tal como ocurre en Venus.

Otra cosa que sabemos de Venus es que sus nubes no se componen de gotitas de agua pura, como las de la Tierra, sino de gotitas de ácido sulfúrico corrosivo.

Pero Ronald Prinn, del Instituto de Tecnología de Massachusetts, observó que la piedra caliza se combina con el ácido sulfúrico para formar sulfato de calcio y monóxido de carbono. Él y un colega, Bruce Fegley, realizaron experimentos a principios de 1989 para averiguar con qué rapidez reaccionarían el carbonato cálcico y el ácido sulfúrico a la elevada temperatura de la superficie de Venus, y lo que tardaría esta reacción en despejar el ácido sulfúrico de la atmósfera de Venus.

Sus resultados y cálculos les indujeron a creer que la Atmósfera de Venus perdería todo su ácido sulfúrico en dos millones de años. Esto es mucho tiempo en comparación con la duración de la vida humana, pero casi nada a escala planetaria porque Venus (como la Tierra) tiene unos 4.600 millones de años de antigüedad. El ácido sulfúrico hubiese debido desaparecer de Venus hace muchísimo tiempo.

Pero no ha sido eliminado. Sigue todavía allí. Esto significa que tiene que formarse nuevo ácido sulfúrico a medida que se elimina el viejo. Lo más probable es que sea formado por acción volcánica.

Entonces Prinn y Fegley calcularon la acción volcánica que se necesitaba en Venus para mantener constante la cantidad de ácido sulfúrico en la atmósfera. Resultó que la acción volcánica necesaria en Venus para producir aquel efecto era sólo del 5 por ciento de la que se habría necesitado en la Tierra.

Esto se confirma mediante otro argumento. Si el planeta Venus fuese tan volcánico como la Tierra, la mayoría de los cráteres de su superficie se habrían llenado hasta el borde con las erupciones de lava. En cambio los cráteres no están llenos, y los cálculos revelan que Venus es sólo un 5 por ciento volcánico en relación con la Tierra. Pero esto plantea un nuevo problema. La Tierra tiene una corteza bastante delgada y dividida en placas que se mueven lentamente. El calor interno de la Tierra puede filtrarse por las junturas entre las placas y también por los volcanes.

Venus tiene una corteza más gruesa y no dividida en placas. Su calor interno sólo puede escapar gracias a la acción volcánica. Si suponemos que la Tierra y Venus, por ser casi iguales de tamaño, deberían tener la misma cantidad de calor interno y perderlo al mismo ritmo, Venus debería ser mucho más volcánico, tal vez cien veces más que la Tierra, porque no tiene junturas entre placas por las que perder calor.

Pero esto es imposible, según los nuevos estudios, por lo que los científicos planetarios tienen que reconocer que Venus tiene mucho menos calor interno que la Tierra, o que tiene alguna manera de perderlo independientemente de las junturas de placas o de los volcanes. Ninguna de ambas posibilidades parece probable, pero son estos enigmas los que hacen tan emocionante la ciencia y prometen una nueva visión de muchas cuestiones –incluida posiblemente la estructura misma de la Tierra– en cuanto se hayan resuelto.

MICROONDAS PERFORADORAS DE NUBES

Estamos acostumbrados a pensar que si queremos ver detalladamente un objeto astronómico lejano debemos enviar una sonda. Pero esto no es necesariamente así. Podemos ver muchos detalles desde aquí mismo, desde la Tierra, y descubrir de esta manera más de lo que podríamos conocer con una sonda. Podemos alargar la mano y tocar otro mundo desde la Tierra, como hemos hecho en el caso de Titán, el satélite más grande de Saturno.

Pudimos ver de cerca a Titán cuando el *Voyager 2* pasó junto a Saturno hace unos años. Es un satélite grande, de unos 5.200 kilómetros de diámetro, o sea considerablemente mayor que nuestra Luna. También tiene atmósfera, cosa de la que carece nuestro satélite.

La atmósfera de Titán es espesa y está constituida en su mayor parte por nitrógeno y metano. El nitrógeno no es afectado por la luz del Sol. En cambio el metano es una molécula pequeña compuesta de un átomo de carbono y cuatro de hidrógeno, y la energía solar junta estas moléculas para formar unidades más grandes. Son moléculas de hidrocarburo, como las de la gasolina.

Aunque Titán está casi diez veces más lejos del Sol que la Tierra, la luz solar que llega hasta él es suficiente para formar estas moléculas más grandes. Resultado de ello es que la atmósfera de Titán parece estar llena de vapores de gasolina que forman una niebla espesa. Los instrumentos del *Voyager 2* no consiguieron penetrar aquella niebla; lo único que pudieron enviar fueron fotografías de un círculo nebuloso de luz pálida.

Naturalmente, los científicos sienten curiosidad por conocer la superficie de Titán. ¿Es sólida? ¿Está cubierta de un océano de hidrocarburos líquidos, de nitrógeno líquido o de una mezcla de ambas cosas?

La respuesta a estas preguntas puede parecer imposible hasta que enviemos una sonda a la atmósfera y a la superficie de Titán.

Sin embargo, los científicos tenían un problema similar con un objeto más próximo a nosotros de lo que está Titán; el planeta Venus. Venus está siempre cubierto por una espesa capa de nubes que nuestros telescopios no pueden penetrar.

Parecía que no hubiera manera de saber cómo era su superficie sólida. Ni siquiera podíamos saber si giraba alrededor de su eje, y si era así en qué dirección y a qué velocidad.

Pero un haz de microondas, como las producidas por instrumentos radar, puede penetrar las nubes. El haz puede alcanzar la superficie de Venus, rebotar, atravesar de nuevo las nubes y volver hasta nosotros. Así pues, los científicos pueden detectar este «eco de microondas».

Si la superficie de Venus fuese lisa y estuviese inmóvil, el eco sería igual que el haz enviado a aquélla. Si la superficie estuviese girando, el eco volvería con una longitud de onda diferente. Por el cambio en la longitud de onda, los científicos podrían saber a qué velocidad y en qué dirección está girando Venus.

Si la superficie de Venus es desigual, el eco de las microondas se difumina un poco y de ello puede deducirse cómo es aquella desigualdad. De hecho, ahora tenemos mapas de la superficie de Venus tal como ha sido revelada por las microondas.

La cuestión es si podemos hacer lo mismo con otros mundos. Está claro que sí pues hemos enviado haces de microondas que han rebotado en Marte, Júpiter, Mercurio e incluso en el Sol, y hemos detectado los ecos.

¿Podemos hacer rebotar microondas en Titán? Sí, pero incluso cuando se halla más cerca, Titán está unas treinta y cinco veces más lejos de la Tierra que Venus. Esto significa que un haz de microondas sólo producirá un eco de Titán de aproximadamente doce centésimas de intensidad del producido en Venus. Para empezar, se necesitaba un haz más potente e instrumentos capaces de detectar ecos más débiles. Y se han inventado. Los nuevos instrumentos de detección se han empleado para Titán. En junio de 1989 se enviaron haces de microondas a Titán y se detectaron ecos, los ecos más débiles con que jamás han trabajado los científicos.

El haz fue enviado en tres días diferentes, 3, 4 y 5 de junio.

Como Titán gira en revoluciones de dieciséis días, los haces de microondas chocaron cada uno de los días señalados en una parte diferente de la superficie. (Fue como si al escrutar la Tierra en tres días sucesivos rebotasen los haces en Pennsylvania, después en Kansas y luego en California.)

Los ecos de las microondas correspondientes al 3 y al 5 de junio fueron débiles, como habría cabido esperar si hubiesen chocado con una masa líquida. En cambio el eco correspondiente al 4 de junio fue mucho más fuerte, parecido al que habríamos podido esperar de Venus. Esto induce a pensar que el haz del 4 de junio chocó con una superficie sólida.

Parece por tanto que Titán es el único cuerpo del sistema solar, conocido hasta ahora, semejante a la Tierra en el sentido de tener una superficie en parte líquida y en parte sólida.

Titán puede tener continentes y mares, como la Tierra, aunque los de Titán serían muy diferentes de los nuestros en su composición química.

Tal vez en el futuro las microondas nos proporcionarán información suficiente para poder confeccionar un mapa de la superficie de Titán e identificar los materiales que la componen. ¿Son de hidrocarburo o de nitrógeno los mares? ¿Son de hielo, de roca o de dióxido de carbono sólido los continentes?

Los científicos quisieran saberlo, y puede que un día lo descubran.

ROCAS ESPACIALES

Los meteoritos son objetos bastante raros, pero siempre han sido importantes. Sin embargo ahora tenemos un nuevo lugar donde buscarlos, y se está desarrollando una nueva técnica para ayudarnos en la búsqueda.

Cuando los seres humanos empezaron a hacer uso del metal, lo primero que encontraron fue cobre y bronce. Pero en ocasiones hallaban bloques de metal que podían ser forjados para confeccionar puntas de lanza y rejas de arado más duras y resistentes, y que podían afilarse mejor que las hechas de bronce. Desde luego los antiguos no lo sabían, pero eran meteoritos de níquel y hierro caídos a la Tierra desde el espacio exterior.

En muy raras ocasiones se vieron caer meteoritos y chocar contra el suelo. Naturalmente, los pasmados espectadores debieron considerar que eran productos del cielo enviados a la Tierra por los dioses, y en consecuencia pudieron adorarlos. En la Meca, la Piedra Negra (presuntamente entregada a Abraham por el ángel Gabriel), en la

Kaaba, el santuario más venerado del Islam, es probablemente un meteorito. Tan afanosa fue la búsqueda de estos extraños y útiles trozos de metal que no se puede encontrar ningún meteorito de hierro en el Oriente Medio, que es donde se desarrolló primero la civilización. Todos ellos fueron encontrados y utilizados hace muchísimo tiempo. Hasta 1500 a. de C. los pueblos del Oriente Medio no aprendieron a fundir el hierro de sus minerales, y entonces dejaron de depender de los ocasionales meteoritos para conseguir metal.

En los tiempos modernos los meteoritos han sido empleados con fines más científicos. Son realmente muy antiguos pues datan de los comienzos de la formación del sistema solar.

La propia Tierra es también antigua, desde luego, pero ha sufrido tantas convulsiones geológicas en el curso de su larga historia que las rocas más antiguas sin alterar que se han encontrado en la corteza terrestre tienen sólo un poco más de 3.000 millones de años de antigüedad. Cuanto más pequeño es el objeto menos cambios sufre, y los meteoritos son tan pequeños que virtualmente no han sufrido ninguno.

El minucioso estudio de los cambios radiactivos en los meteoritos ha hecho que los científicos llegasen a la conclusión de que la Tierra, y con ella todo el sistema solar, tiene unos 4.600 millones de años de antigüedad.

Hay meteoritos de diferentes clases. Los compuestos de níquel y hierro son fácilmente reconocibles porque no se encuentran en la corteza terrestre salvo en los meteoritos. Pero sólo constituyen el 10 por ciento de todos los meteoritos.

El resto es casi todo de naturaleza pétrea, y a menos que se vean caer realmente suelen pasar inadvertidos entre las piedras de la Tierra, salvo que sean recogidos y estudiados por otras razones.

Algunos meteoritos, muy pocos, son «condritas carbonosas». Éstas contienen cierta cantidad de agua sujeta a las moléculas pétreas que constituyen el cuerpo principal de los meteoritos. También contienen moléculas orgánicas contenedoras de carbono, como grasas, aminoácidos, etcétera. Estas moléculas orgánicas son parecidas a las que se encuentran en criaturas vivas de la Tierra, pero no son producto de la vida.

Algunas características inconfundibles de las moléculas orgánicas de los meteoritos demuestran que se formaron por procesos naturales ajenos a la vida.

Esto parece indicar que cuando se formó la Tierra tales moléculas orgánicas pudieron originarse muy pronto e iniciar su marcha hacia una mayor complejidad y hacia la vida. En pocas palabras, el estudio de estos meteoritos puede darnos indicaciones sobre el origen de la vida.

Los científicos están ansiosos por estudiar el mayor número posible de meteoritos ya que pueden darles una información que hasta ahora resulta imposible de conseguir por otros medios. Pero los meteoritos de níquel y hierro son raros, y las condritas carbonosas más raras aún. Y por desgracia, los meteoritos «pétreos» más comunes suelen pasar inadvertidos sobre el fondo rocoso de las zonas de tierra firme de nuestro mundo.

Sin embargo hay una zona de tierra firme no rocosa, al menos en su superficie. Es la Antártida, que tiene 13 millones de kilómetros cuadrados y está cubierta de una gruesa capa de hielo. Cualquier piedra ocasional sería perfectamente visible contra esa capa de hielo, y casi con toda seguridad se trataría de un meteorito. En los últimos años han sido localizados y extraídos de la capa de hielo de la Antártida varios meteoritos para su estudio. El más grande que se ha encontrado hasta ahora tiene unos sesenta centímetros de diámetro y pesa cien kilos.

Estos meteoritos son especialmente útiles porque al hallarse situados en el hielo estéril de la Antártida, es menos probable que hayan sido invadidos y alterados por la vida microscópica que los que caen en climas más saludables.

Pero hasta ahora sólo han sido descubiertos los meteoritos traídos a la superficie del hielo por el lento movimiento glacial. Tiene que haber muchos más, enterrados debajo de aquella superficie. Científicos del Naval Air Development Center, de Warminster, Pennsylvania, han realizado experimentos que demuestran que tales meteoritos enterrados pueden ser localizados mediante el empleo del radar, aunque estén enterrados a varias docenas de metros en el hielo y pesen menos de un kilo. De esta manera podrá explorarse en el futuro todo el continente de la Antártida, y descubrirse una zona increíblemente rica en material meteórico.

LA APROXIMACIÓN DE UN ASTEROIDE

El 23 de marzo de 1989 algo se acercó a la Tierra. Un pequeño asteroide de un kilómetro y medio aproximadamente de diámetro pasó zumbando a una distancia de unos 850.000 kilómetros, más o menos el doble de la que hay de la Tierra a la Luna. Desde luego parece una distancia bastante segura, aunque ya dicen que «es lo mismo fallar por poco que por un kilómetro».

Sin embargo esta roca sigue una órbita que casi cruza la de la Tierra, y a intervalos (intervalos muy largos), tanto la Tierra como el asteroide llegan al punto de cruce al mismo tiempo, haciendo que aquél se acerque a nosotros.

Podríamos argüir que 850.000 kilómetros, o posiblemente un poco menos, es lo máximo que puede acercarse si las órbitas son inmutables; pero no lo son. La Tierra es un cuerpo macizo y su órbita es muy estable, pero el asteroide es muy pequeño en comparación con aquélla y está sujeto a la atracción de la Tierra, de la Luna, de Marte y de Venus al moverse, de manera que su órbita varía constantemente un poco.

Esta órbita puede variar, alejándose o acercándose a la Tierra, de modo que aunque haya poca probabilidad de choque, no puede descartarse totalmente.

Lo malo es que este asteroide no es el único. En 1937, uno al que los astrónomos llamaron Hermes pasó a 320.000 kilómetros de la Tierra y era más grande que el mencionado anteriormente. Podía tener un kilómetro y medio de diámetro.

Y el 10 de agosto de 1972, un pequeño objeto de unos doce metros de diámetro pasó a una distancia de sólo cincuenta kilómetros sobre la superficie del sur de Montana... y pasó de largo. Había cruzado nuestra estratosfera.

Algunos astrónomos creen que puede haber al menos un centenar de objetos de ochocientos metros o más con órbitas que les hacen pasar cerca de la Tierra. Y pueden haber miles de sólo unas pocas docenas de metros. Evidentemente, la probabilidad de que alguno de ellos acabe por chocar con la Tierra es mucho mayor que la que tiene un objeto específico como el último que no nos dio.

Incluso un cuerpo relativamente pequeño, como el que pasó por encima del sur de Montana, podría causar terribles daños si cayese. Si lo hiciese en tierra firme abriría un cráter de tamaño considerable. A fin de cuentas, estos proyectiles pueden moverse a treinta kilómetros por segundo al alcanzar la Tierra.

Un objeto de ochocientos metros de ancho, como el que pasó en marzo de 1989, chocaría con la fuerza de 20.000 millones de toneladas de TNT. Si cayese sobre Nueva York, arrasaría sin duda toda la ciudad y mataría a millones de personas en un instante. Si cayese en el océano aún podría ser peor, pues el agua se agitaría terriblemente y enormes maremotos, montañas de agua de cientos de metros de altura, romperían contra las costas vecinas y ahogarían a millones de personas.

Si el objeto aún fuese mayor, podría atravesar la corteza terrestre, provocar un fenómeno volcánico y el incendio de bosques en todo el mundo, sumergir la mitad de los continentes y arrojar tanto polvo a la estratosfera que taparía la luz del Sol durante un largo período. Un golpe semejante podría matar a casi todos los seres vivos, y desde luego son muchos los que consideran que un accidente parecido pudo extinguir los dinosaurios hace 65 millones de años.

Recientemente han ocurrido colisiones menos importantes. En Arizona hay un cráter de mil doscientos metros de diámetro y ciento ochenta de profundidad, que se formó hace tal vez 50.000 años como resultado de una colisión. Probablemente no mató a nadie, porque los seres humanos todavía no habían llegado a las Américas. En 1908, un impacto mucho más débil en Siberia central derribó todos los árboles en treinta kilómetros a la redonda, pero tuvo lugar en una región deshabitada e inhóspita y no produjo muertos.

De hecho no hay constancia en tiempos históricos de que haya muerto algún ser humano a consecuencia de la caída de un meteorito, pero esta suerte puede no durar eternamente.

¿Qué podemos hacer al respecto?

Hace treinta años escribí un ensayo que fue publicado en el número de agosto de 1959 de *Space Age y* que se titulaba «Big Games Huntings in Space». En él preconizaba el establecimiento (cuando tuviésemos posibilidad de hacerlo) de un centinela espacial que vigilase el acercamiento de cualquier objeto de más de unos pocos metros de ancho. Entonces podría ser volado por una bomba de hidrógeno colocada en su trayectoria o por algo aún más avanzado. (Sería una defensa al estilo de «La Guerra de las Galaxias», pero contra los asteroides en vez de contra misiles enemigos.)

Que yo sepa fui el primero en sugerir semejante cosa; pero desde entonces los astrónomos han discutido con toda seriedad el problema. A fin de cuentas se ha calculado que un choque capaz de destruir una ciudad podría ocurrir, por término medio, una vez cada 50.000 años, que es el tiempo que ha pasado desde el cráter de Arizona. Por así decirlo, podría haber vencido el plazo.

Desde luego si destruyéramos un pequeño asteroide, los escombros quizá seguirían en su órbita, pero si chocasen con la Tierra, ningún fragmento podría causar mucho daño. En vez de abrirse un enorme cráter presenciaríamos un brillante espectáculo meteórico al arder los pequeños fragmentos en el aire o caer al suelo como pequeñas piedras.

DIAMANTES DEL ESPACIO

Los científicos han encontrado pequeñas cantidades de distintas sustancias en los meteoritos y ya no esperan sorpresas. Sin embargo, no hace mucho, un grupo de químicos que trabajaban bajo la dirección de Edward Anders, de la Universidad de Chicago, se sorprendieron enormemente al encontrar diamantes en meteoritos.

Desde luego esto no quiere decir que se hiciesen inmediatamente ricos porque los diamantes que encontraron eran de tamaño microscópico. Había dos tipos de diamantes. Unos tan pequeños que si se hubiesen colocado 250.000 de ellos uno al lado de otro, habrían formado una línea de un par de centímetros de longitud. Y éstos eran los mayores. Los del otro tipo eran tan diminutos que se habrían necesitado 10 millones, puestos de lado, para abarcar un par de centímetros. Sin embargo, los químicos estaban entusiasmados. Unos diamantes meteóricos, por pequeños que sean, representan una riqueza de otra clase: un caudal de conocimiento.

El sistema solar, incluidos el Sol y todos los planetas, se condensó de una vasta nube de polvo y gas hace una eternidad. En el proceso, la mayor parte del material se calentó muchísimo y sufrió considerables cambios. Es difícil decir, en vista de la composición del Sol o de la Tierra, cómo era la nube original.

Pero los cuerpos pequeños sufrieron menos cambios que los grandes. Por tanto, los pequeños meteoritos que vuelan en el espacio interplanetario pueden decirnos más que cualquier cuerpo más grande sobre los orígenes del sistema solar. De hecho, gracias al estudio de meteoritos pudimos saber la edad del sistema solar: 4.600 millones de años.

Pero incluso la nube de polvo de la que nació el sistema solar tenia una historia propia. No existió sin cambios a lo largo de toda la existencia del universo. En su origen la nube se componía enteramente de hidrógeno y helio, los dos átomos más simples. Sin embargo, las estrellas forman átomos más complicados y los envían al espacio en «vientos estelares».

(Nuestro propio Sol tiene un «viento solar».) Las estrellas rojas gigantes, enormes y bastante inestables, son mucho más activas a este respecto. Como resultado de ello, las nubes de gas interestelares están contaminadas con átomos más pesados.

A veces hay estrellas que estallan como supernovas, y entonces son lanzadas al espacio grandes cantidades de átomos complejos, y las nubes de gas se contaminan todavía más.

La nube de la que se formó el sistema solar estaba fuertemente contaminada de esta manera, pues nuestra Tierra y nuestros propios cuerpos se componen en gran parte de átomos complejos que tuvieron su origen no en la nube de polvo sino en las estrellas contaminadoras. (Como dicen a veces los astrónomos, somos «materia estelar».)

Al condensarse el material de la nube de polvo para formar el sistema solar, ocurrieron tantos cambios, incluso en la formación de cuerpos pequeños como los meteoritos, que no podemos decir gran cosa sobre la naturaleza de la contaminación de aquella nube. Sin embargo se creyó que sólo una sustancia podía haber soportado aquellos cambios y darnos algunas claves sobre los detalles de la contaminación. Esa sustancia es el diamante.

Uno de los elementos que se forman en grandes cantidades en el interior de las estrellas es el carbono. Los átomos de carbono suelen juntarse ligeramente en forma de grafito. Por lo visto, los vientos y las explosiones estelares hacen que algunos grafitos se agrupen y compriman en diamantes, que es la sustancia más dura que conocemos.

Pero los diamantes diminutos de los meteoritos no son de carbono puro. Dentro de su estructura hay burbujas aún más diminutas que contienen gases. Al parecer estos gases son de la época de la nube original, y han sido resguardados de los cambios durante milenios por el diamante donde están encerrados.

En las estrellas rojas gigantes, la formación de los átomos más complejos se realiza lentamente, con la adición, una a una, de diminutas partículas llamadas «neutrones». Esto significa que los átomos que se forman en definitiva tienden a contener relativamente pocos neutrones. Por otra parte, cuando explota una estrella, todos los cambios atómicos tienen lugar rápidamente. Los neutrones son introducidos a la fuerza en los átomos a un ritmo enorme, y por esto los átomos que se forman tienden a contener un número relativamente grande de neutrones.

Resulta que los dos tipos de diamante que se encuentran en los meteoritos tuvieron orígenes diferentes. Ambas clases de diamante contienen burbujas diminutas del raro gas xenón, pero en el caso de los diamantes más grandes el xenón es sobre todo del tipo conocido como xenón 130. Cada átomo de este tipo contiene setenta y seis neutrones. En el caso de los diamantes más pequeños, el xenón que contienen es la mayoría de las

veces de un tipo conocido como xenón 136, en cada uno de cuyos átomos se encuentran ochenta y dos neutrones.

Parecería por tanto que los diamantes más grandes proceden de los vientos estelares de gigantes rojas, y los más pequeños de la explosión de supernovas.

Esto nos dice algo sobre la naturaleza de la contaminación de la nube primigenia y parece indudable que ulteriores estudios nos darán más información. Sería importante saber por qué las estrellas forman diamantes en vez de grafito, que es más fácil de formar. A fin de cuentas, nada menos que una milésima parte de todo el carbono del espacio podría estar en forma de diamantes. ¿Cuál sería la razón de esto?

EL MUNDO MUERTO

Está montado el escenario para una nueva carrera hacia la Luna.

La Unión Soviética está construyendo una flota de transbordadores espaciales y ya posee una sencilla estación orbital.

Estados Unidos está reparando su propia flota de transbordadores espaciales a la luz de las lecciones del desastre del *Challenger, y* proyectan una estación orbital muy perfeccionada.

Estados Unidos ganó la primera carrera a la Luna, pero esto no fue más que una proeza. Hicimos una serie de breves visitas a la Luna y después nos retiramos. La nueva carrera será para un premio mucho más importante: el establecimiento de una base permanente en la Luna.

Pero ¿por qué? La Luna es un mundo completamente muerto, un pedazo de roca sin interés. ¿Por qué preocuparnos por ella?

En realidad la Luna es una finca enorme en nuestro patio de atrás, a sólo tres días de distancia. Su superficie tiene una extensión igual a la de los dos continentes americanos juntos, y el mero hecho de su existencia es sorprendente. Hay otros seis grandes satélites en el sistema solar, y todos ellos lo son de planetas gigantes. Que un pequeño planeta como la Tierra tenga un satélite tan grande como la Luna, es algo que no se ha explicado todavía.

Y es buena cosa que la Luna sea un planeta muerto. Si tuviese vida, incluso en sus formas más simples, podríamos creernos obligados a no tocarla, a estudiar su vida a protegerla, como tratamos de proteger el cóndor de California. La Luna pertenecería a su vida. Tal como es, no pertenece a nadie, ni siquiera al más simple de los virus. Los seres humanos pueden explotar libremente sus recursos.

Y los tiene. El suelo de la Luna es rico en minerales que contienen metales. El suelo lunar puede ser fundido y hacer que produzca todos los metales estructurales: hierro, aluminio, titanio, magnesio, etcétera. Con él se puede fabricar cemento, hormigón, cristal. Incluso puede ser considerado como una rica fuente de oxígeno. Y todos estos materiales se pueden utilizar para construir estructuras en el espacio, un número infinito de ellas.

Alguien podría preguntar por qué tenemos que ir a la Luna para hacernos con estos materiales. ¿No tenemos ya gran cantidad de ellos en el subsuelo de la Tierra? Es cierto, pero los recursos de la Tierra pertenecen a sus habitantes, que los necesitan y podrían ver con malos ojos que innumerables millones de toneladas de metal y de otros materiales se empleasen en estructuras espaciales. Los recursos de la Luna son otra cuestión. Están allí, sin ser utilizados, desde hace miles de millones de años. Si los utilizamos ahora, a nadie privaremos de ellos.

Hay otra razón para emplear los recursos de la Luna con preferencia a los de la Tierra. La Luna es un mundo pequeño y su gravedad sólo un sexto de la Tierra.

Levantar una tonelada de material de la superficie de la Luna y lanzarla al espacio, requerirá sólo una pequeña fracción de la energía necesaria para levantar aquella misma tonelada de la superficie de la Tierra.

¿Qué estructuras podemos construir? En primer lugar podríamos construir estaciones de energía solar en el espacio, que recogerían la luz del Sol con una eficacia sesenta veces mayor que la de estaciones parecidas en la superficie de la Tierra. Esta energía solar podría enviarse a la Tierra en forma de microondas y resolver para siempre nuestros problemas energéticos.

Podríamos construir fábricas automatizadas que aprovechasen las desacostumbradas propiedades del espacio vacío externo (gravedad cero, radiación solar energética, etcétera) para fabricar aparatos y realizar procesos que no podrían ser imitados en la Tierra.

Podríamos construir observatorios para investigar el universo de formas que resultan imposibles en la superficie de la Tierra, donde la atmósfera oscurece continuamente las cosas.

Podríamos construir laboratorios para realizar estudios que no pueden hacerse en la superficie de la Tierra o para llevar a cabo experimentos biológicos que podrían resultar demasiado peligrosos en la Tierra.

Podríamos incluso construir ciudades artificiales en el espacio, cada una de ellas con capacidad de albergar a diez mil (o más) hombres, mujeres y niños.

Empleando los recursos lunares (más algunos de la Tierra, porque la Luna carece de elementos tan importantes como el carbono, el hidrógeno y el nitrógeno) podríamos empezar a edificar una sociedad basada en el espacio y asentar los cimientos para su expansión hacia el cinturón de asteroides y más allá, en el próximo siglo o en el siguiente.

Parece bastante seguro que los rusos, que se han ido colocando firmemente a la cabeza en el espacio, están proyectando algo como esto. Y nosotros también debemos hacerlo. Las posibles ganancias de esta ampliación del campo humano, tanto físicas como psicológicas, son enormemente mayores que el dinero, el esfuerzo y los riesgos requeridos para ello, y no queremos que sean los rusos los únicos en aprovecharlas.

Desde luego me parece que tampoco deberíamos adoptar una actitud de enfrentamiento. Tanto nosotros como los rusos podemos adelantar más si colaboramos. Ciertamente, la tarea de establecer la civilización en el espacio es tan enorme que deberíamos considerarla un proyecto mundial. Los rusos y nosotros deberíamos recibir de buen grado, no sólo la ayuda recíproca que podamos prestarnos sino la de cualquier otra nación de la Tierra.

LA LENTA DESINTEGRACIÓN

Si un día pudiéramos establecer una base permanente en la Luna, ¡qué cosas tan sorprendentes podríamos hacer! Por ejemplo, podríamos averiguar si ciertas teorías básicas sobre la naturaleza son correctas. En los últimos años los físicos han formulado las llamadas «Teorías de la Gran Unificación», en las que las que recogen fuerzas de la naturaleza en una serie de relaciones matemáticas. Semejante teoría, si resulta acertada, podría decirnos al fin cómo empezó el universo, cómo ha llegado a su estado actual y cuál podría ser su último destino.

¿Pero cómo saber si las Teorías de la Gran Unificación son correctas? Una manera es ver si sugieren algún fenómeno anteriormente insospechado y hacer después experimentos para confirmar la hipótesis.

Por ejemplo, desde que se descubrió el protón hace unos tres cuartos de siglo, éste ha parecido una partícula estable.

Aparentemente, si permaneciese sola, duraría toda la eternidad.

Sin embargo, según las Teorías de la Gran Unificación, el protón debería tener una pequeña, una increíblemente pequeña tendencia a desintegrarse. De hecho, en unos 200 millones de billones de billones de años, la mitad de todos los protones del universo tendrían que haberse desintegrado. Desde luego éste es un tiempo sumamente largo. Equivale a unos 13.000 trillones más que toda la existencia del universo hasta ahora.

Esto significa que desde que empezó a existir el universo sólo una pequeñísima porción de los protones ha tenido ocasión de desintegrarse.

Entonces, ¿cómo podemos comprobar el acierto de las Teorías de la Gran Unificación para saber si en realidad los protones se están desintegrando a un ritmo sumamente lento.

Evidentemente, no podemos esperar billones y billones de años para comprobarlo.

Pero no hace falta. Aunque se requiera una virtual eternidad para que se desintegren muchos protones, unos pocos de ellos se están desintegrando constantemente a nuestro alrededor. Por ejemplo, veinte mil toneladas de agua, o de hierro, contendrían millones de billones de billones de protones, y unos doce de éstos se descompondrían en el transcurso de un año. Esto es un porcentaje insignificante, pero al romperse, cada protón produciría partículas que podrían ser detectadas, y si se detectasen estas doce desintegraciones anuales, ello constituiría una elocuente prueba a favor de las Teorías de la Gran Unificación. Después de todo, si estas teorías no fuesen ciertas, no se produciría ninguna desintegración.

Se han montado aparatos muy sensibles para detectar esta esporádica ruptura de protones, y hasta ahora no han revelado nada. Tal vez esto significa que las Teorías de la Gran Unificación no son ciertas, pero los científicos no están todavía dispuestos a admitirlo. Se tiene la impresión de que los aparatos detectores aún no son lo bastante sensibles como para llevar a cabo su función. Pero aunque lo fuesen, existen las interferencias.

A fin de cuentas hay varias clases de radiaciones energéticas a nuestro alrededor, desde la luz del Sol hasta los rayos cósmicos. Estas generan partículas que representan «ruido» en los detectores y enmascaran las verdaderas rupturas de protones.

Para evitar el ruido, estos detectores se instalan a gran profundidad bajo tierra. Esto produce un medio «silencioso», con una sola excepción. Los rayos cósmicos que bombardean constantemente la Tierra reaccionan con átomos de la atmósfera terrestre para producir diminutas partículas llamadas «neutrinos». Estos neutrinos apenas interactúan con la materia y atraviesan toda la Tierra como si ésta fuese un espacio vacío.

Pueden pasar a través de los detectores, por muy profundos que estén instalados.

En algunas ocasiones, tales neutrinos interactúan con protones para producir partículas similares a las que deberían producirse por la ruptura del protón. Por cada descomposición real de un protón captada por los detectores, se captarían también casi 100 interacciones de neutrinos. Distinguir las rupturas de protones sería una tarea muy difícil.

Pero ¿y si estuviésemos en la Luna, donde no hay atmósfera? En este caso podríamos construir un túnel de 300 metros de longitud, 14 de anchura y 7 de altura, en el lado de un cráter, a unos 90 metros debajo de la superficie. Una serie de detectores muy masivos y complicados serían colocados en distintos puntos de los lados del túnel.

Los rayos cósmicos alcanzan también la Luna, pero al no haber atmósfera, el número de neutrinos formados debería ser mucho menor. Los científicos calculan que en tales

condiciones, sólo se producirían una interacción de neutrino por cada dos desintegraciones verdaderas de protones. Así pues, si pudiésemos realizar este complicado y carísimo experimento en la Luna, el silencio absoluto del medio nos permitiría comprobar con relativa facilidad la validez de las Teorías de la Gran Unificación.

EL VIEJO DIGNO DE CONFIANZA

Hay algunas cosas que desearíamos ardientemente que fuesen dignas de confianza; por ejemplo, el Sol. No queremos que aumente o se reduzca de manera perceptible, ni que sea más caliente o más frío. Afortunadamente, está bien tal como está, y recientes investigaciones indican que seguirá estándolo.

Tenemos la seguridad de que ha sido de fiar durante toda la historia de la Tierra. Sí el Sol se hubiese calentado hasta hacer hervir los mares, o se hubiese enfriado hasta congelarlos, se habría destruido sin duda toda forma de vida actual.

Pero que nosotros sepamos, la vida ha sido continua en la Tierra durante, al menos, 3.500 millones de años.

Desde luego se han producido anomalías. En el último millón de años ha habido varias eras glaciales y a intervalos de unas pocas decenas de millones de años tiene lugar una gran ola de extinciones. Pero estamos casi seguros de que el Sol no ha intervenido directamente en estos desastres sino que han sido fruto de impactos meteóricos, de cambios en la distribución de los continentes o en la profundidad de los océanos. Al menos, así lo creemos.

Pero aunque el Sol sea de fiar a largo plazo, ¿no podría suceder que precisamente ahora, entrase en un período de ligera inseguridad? ¿No podría tal vez estar experimentando cambios no lo bastante grandes para poner en peligro la vida en general pero sí para producir molestias a los seres humanos?

Por ejemplo, se ha dicho recientemente que el Sol se ha estado contrayendo ligeramente durante los últimos siglos.

Precisamente ahora tiene 1.919 segundos de arco de diámetro, pero algunos astrónomos han encontrado razones para suponer que podía tener 1.927 segundos de arco de diámetro en el año 1700. La diferencia no es grande pero podría señalar posibles problemas en el futuro.

¿Hay alguna manera de comprobarlo?

Puede haberla. De vez en cuando la Luna pasa directamente por delante del Sol, y la sombra de aquélla es proyectada sobre la Tierra. La sombra de la Luna se estrecha al acercarse a la Tierra y cuando llega a la superficie de ésta tiene como máximo 270 kilómetros de diámetro. El diámetro exacto de la sombra depende de la distancia del Sol y la Luna respecto de la Tierra el día del eclipse, así como del diámetro del Sol y de la Luna. La distancia del Sol y de la Luna y el diámetro de ésta no han cambiado sensiblemente en los últimos pocos siglos, por lo que sólo el diámetro del Sol es incierto.

Si hace tres siglos el Sol hubiese tenido un diámetro mayor del que ahora tiene, su luz habría abarcado un poco más la Luna y estrechado la sombra a menos de lo que sería hoy en día. Por consiguiente, lo único que hemos de hacer es medir la anchura de la sombra de un eclipse que tuvo lugar hace tres siglos. Pero ¿cómo hacerlo?

En esto hemos tenido suerte. El 3 de marzo de 1715 se produjo un eclipse en el que la sombra de la Luna fue proyectada sobre el sudeste de Inglaterra, que estaba muy avanzada científicamente en aquella época. Mejor aún, vivía por aquel entonces en

Inglaterra uno de los más grandes astrónomos de la época, Edmund Halley (el mismo que descubrió la órbita del cometa Halley).

Halley organizó la observación del eclipse de 1715 por observadores aficionados de toda Inglaterra, y recogió los relatos de todos los testigos oculares. Cada uno de ellos expresaba, por ejemplo, el tiempo exacto que había durado la fase total del eclipse. Cuanto más cerca se estuviese del centro de la sombra, más duraría aquél (un poco más de siete minutos es el máximo de cualquier eclipse total). Cerca del borde de la sombra, sólo duraría unos pocos segundos.

Unos astrónomos ingleses, encabezados por Leslie V. Morrison, han estudiado ahora aquellos relatos e informado recientemente de los resultados. Han encontrado que en la punta sudeste de Inglaterra, un tal Will Tempest, que vivía cerca de Cranbrook, Kent, elaboró un informe. En él consignaba que el eclipse había durado sólo un instante. Tenía que haber estado casi exactamente en el borde sur de la sombra de la Luna.

Había así mismo un informe de un tal Theophilus Shelton, que vivía cerca de Darrington, West Yorkshire, y también él decía que el eclipse había durado sólo un instante. Ciertamente, aún era visible una parte del Sol, pero en aquel momento sólo tenía el tamaño de una estrella. Tenía que haber estado casi exactamente en el borde norte de la sombra de la Luna.

En realidad esto ya se había observado antes, pero el equipo de Morrison consiguió localizar la posición exacta de las casas de Tempest y Shelton, en vez de guiarse por el centro de las ciudades. Entonces pudieron medir la anchura que debió tener la sombra de la Luna con una aproximación de menos de un kilómetro y medio, y descubrieron que era exactamente lo que debía ser si el diámetro del Sol era exactamente igual a lo que es en la actualidad. Si en cambio el diámetro del Sol hubiese sido 8 segundos de arco mayor, la sombra habría estado seis kilómetros más lejos al sur, en Yorkshire, y seis kilómetros más lejos al norte, en Kent. Ni Tempest ni Shelton habrían podido ver el eclipse en su totalidad. Una parte suficiente del Sol habría permanecido descubierta para destruir el efecto del eclipse total. Por consiguiente, el Sol sigue siendo, a fin de cuentas, el viejo digno de confianza.

IR A DONDE ESTÁ LA ENERGÍA

Vamos a necesitar energía para un futuro indefinido, y los científicos rusos ya están haciendo planes pensando en esto.

Ahora están desarrollando un proyecto para colocar grandes estaciones de energía solar en el espacio para enviar electricidad a la Tierra. Aunque el proyecto tiene posibilidades militares, también ofrece una excelente oportunidad de colaboración multinacional que podría reforzar la paz mundial.

El Sol es una evidente fuente de energía que durará miles de millones de años. La luz solar que llega a la Tierra se puede convertir en electricidad, pero la atmósfera absorbe parte de la luz y dispersa el resto, el polvo la enturbia más, las nubes la bloquean todavía más y la noche la suprime en su totalidad durante una parte de cada día.

Entonces, ¿por qué no ir adonde está la energía? ¿Por qué no salir al espacio? Más allá de la atmósfera, la luz del Sol brilla en todo su esplendor, sin nubes, ni polvo, ni aire de ninguna clase que la reduzca.

Supongamos que tenemos un ingenio que está muy por encima del ecuador de la Tierra, un aparato capaz de absorber luz del Sol y transformarla en electricidad. Entraría en la sombra de la Tierra durante unas pocas horas ocasionales, aproximadamente en la época de cada equinoccio. Con esta salvedad, el aparato estaría continuamente expuesto

a la plena luz del Sol. Se calcula que podrían convertir siete veces más luz solar en energía que la que el mismo ingenio podría convertir en la superficie de la Tierra.

Si este aparato estuviese a 35.680 kilómetros sobre el ecuador de la Tierra, giraría lo mismo que ésta, exactamente en veinticuatro horas. Vista desde un punto del ecuador situado directamente debajo de él, parecería que permanece fijo en el espacio. Este ingenio podría recoger luz del Sol y convertirla en electricidad, que a su vez podría ser convertida en microondas. Las microondas podrían ser radiadas a una estación receptora situada en la Tierra, que podría convertirlas de nuevo en electricidad para su distribución donde fuese necesario.

Sin embargo, para captar una cantidad razonable de energía; el aparato tendría que recoger una gran cantidad de luz del Sol. Esto significa extender «placas solares» (unidades que convierten la luz del Sol en electricidad) en una vasta zona. Se calcula que el aparato total tendría una extensión igual a la de la isla de Manhattan, o mayor. Y lo que es más, tal vez tendría que haber sesenta de estos aparatos colocados en órbita sobre el ecuador, lo cual representaría una extensión total mayor que la del Estado de Rhode Island.

La cantidad de energía que esto suministraría continuamente, año tras año, siglo tras siglo, podría ser igual a la producción de seiscientas centrales nucleares. Con el tiempo aumentaría posiblemente la energía obtenida al perfeccionarse la eficacia de los aparatos.

Desde luego habría que superar enormes dificultades, probablemente se necesitarían cincuenta años de intenso trabajo y un gasto de hasta 3 billones de dólares para construir los aparatos necesarios. Y una vez construidas las estaciones de energía solar en el espacio, tendrían que ser constantemente mantenidas y reparadas. En el espacio, los aparatos quedarían a salvo de las inclemencias del tiempo atmosférico, de las depredaciones de la vida salvaje y del vandalismo humano, pero serían vulnerables a los desechos espaciales. Algunos de estos serían naturales, porque el espacio está lleno de partículas de polvo y de arena. Otros serian de confección humana; pedazos y fragmentos de satélites y de sondas.

Además, está la cuestión de cómo podrían afectar los haces de microondas enviados por los ingenios solares a la superficie de la Tierra, a la capa de ozono, a la atmósfera, a las personas, a la vida salvaje, etcétera.

El proyecto había sido presentado por Peter E. Glaser, de Arthur D. Little Inc., de Cambridge, Massachussets, en los años sesenta. La NASA había considerado la posibilidad de llevarlo adelante en los setenta, pero el costo y consideraciones ambientales parecieron apagar el interés americano.

En cambio los rusos han recogido ahora la idea. Tiene ahora un nuevo cohete, el *Energía*, que es como mínimo cuatro veces más potente que los mejores de los americanos, y esperan emplearlo para enviar al espacio las cantidades material que requeriría un proyecto tan ambicioso.

Podrían empezar con algo sencillo, construyendo un receptor pasivo de luz solar. Esto crearía una pequeña “luna” en el cielo, que podría iluminar ciudades o calentar zonas rurales en el caso de heladas intempestivas. Podría llevarse a cabo con carácter experimental en los años noventa.

Si los rusos progresasen en este importante proyecto, Estados Unidos podría temer el empleo militar de la energía solar y de los reflectores espaciales. Yo siempre he creído que la manera más segura de contrarrestar esta posibilidad es internacionalizar los grandes proyectos espaciales, que por otra parte podrían resultar demasiado costosos para todo lo que no fuese un esfuerzo mundial.

Además, el empleo pacífico de las estaciones de energía solar en el espacio no debería ser exclusivo de una nación. Es lógico pensar que la luz del Sol pertenece a toda la Tierra. El deseo común de utilizar esta energía y mantener y mejorar las estaciones debería infundir a las naciones del mundo el afán de agruparse e imponer el sentimiento de un objetivo común, más fuerte que el que existe en la actualidad.

Dado que cualquier desavenencia o controversia graves perjudicaría el buen funcionamiento de las estaciones, rebajando el suministro de energía para todos, éste podría ser también un fuerte incentivo a favor de la paz.

UN OCÉANO DE GASOLINA

¡Imagínense que encontrásemos un océano de gasolina! Pues podría existir. En realidad podría existir en dos lugares diferentes. Pero desde luego no en la Tierra.

Hay siete grandes satélites en nuestro sistema solar, y la Luna es uno de ellos. Es demasiado pequeña (3.456 kilómetros de diámetro) y su gravedad demasiado débil para tener una atmósfera. Esto es particularmente cierto porque la capacidad de retener una atmósfera disminuye al aumentar la temperatura. La Luna es el satélite grande que está más próximo al Sol, y su temperatura está a veces por encima del punto de ebullición del agua.

Júpiter tiene cuatro satélites grandes que sólo reciben una veintisieteava parte del calor del Sol que recibe nuestra Luna.

Y lo que es más, dos de ellos, Ganímedes y Calixto, son muy grandes: tienen más de cuatro mil ochocientos kilómetros de diámetro. Pero todavía son demasiado pequeños y demasiado calientes para tener atmósfera.

Saturno tiene un satélite grande, Titán, que también tiene más de cuatro mil ochocientos kilómetros de diámetro y recibe noventa veces menos calor del Sol que el que recibe la Luna. Es lo bastante grande y lo bastante frío para poseer una atmósfera. En 1948, G. P. Kuiper detectó esta atmósfera y descubrió que contenía metano, una combinación de carbono e hidrógeno. El metano es el principal componente de lo que en la Tierra llamamos «gas natural».

Pero en 1981, cuando el *Voyager 2* pasó cerca de Saturno, nos mostró que Titán tenía una atmósfera inesperadamente espesa, tal vez más espesa que la de la Tierra. En ella había metano y además una gran cantidad de nitrógeno. (El nitrógeno frío es casi imposible de detectar a gran distancia.)

La atmósfera de Titán es brumosa y por tanto no podemos ver a través de ella la superficie del satélite. Pero los astrónomos son buenos conocedores del comportamiento del nitrógeno y del metano, y pueden sospechar lo que pudo ocurrir. El nitrógeno, que es un gas inerte, no cambia. En cambio las moléculas de metano pueden ser divididas por la energía de la luz solar, y los fragmentos podrían agruparse dando moléculas más grandes, compuestas de carbono e hidrógeno. El metano tiene sólo un átomo de carbono en su molécula, pero la radiación del Sol puede combinarlo en moléculas con dos átomos de carbono, o tres, o más.

El nitrógeno y el metano son gases a la temperatura de Titán, pero las moléculas más complicadas se hallarían en estado líquido. Es posible por tanto que bajo la densa atmósfera de Titán hayan charcos, lagos, ríos e incluso mares de moléculas con dos átomos de carbono (llamadas «etano») o con tres («propano») o más. Las moléculas con siete u ocho átomos de carbono formarían gasolina. Ésta podría ser sólida, a las temperaturas de Titán, pero estos sólidos se disolverían en el mar de etano-propano.

Esto quiere decir por tanto que Titán, bajo su densa atmósfera, puede poseer un océano de gasolina.

Si miramos más allá de Titán encontraremos un último satélite grande, llamado Tritón, que gira alrededor de Neptuno, que es el más lejano de los grandes planetas. Cuando hubo dejado atrás Urano, el planeta que está más allá de Saturno y que no tiene satélites grandes, la sonda *Voyager 2* se dirigió a gran velocidad hacia Neptuno y pasó por delante de él en agosto de 1989.

Tritón resultó considerablemente más pequeño que Titán.

Es todavía más frío ya que sólo recibe una nueve centésima parte de calor del Sol que recibe nuestra Luna, y sólo una décima del que recibe Titán. Por consiguiente, Tritón debería tener también atmósfera, pero menos densa.

Sin embargo estos dos mundos no son fáciles de conquistar. Titán está a unos 1.417 millones de kilómetros de nosotros, y Tritón tres veces más lejos, a 4.480 millones de kilómetros. A estas distancias, cualquier gasolina que pudiésemos recoger de Titán resultaría sumamente cara. Además no sería buena idea traer aquella lejana gasolina y quemarla aquí.

Consumiría oxígeno y lo sustituiría por dióxido de carbono, del que ya producimos bastante al quemar nuestra propia gasolina y nuestro carbón.

Pero puede llegar un día en que los seres humanos tengan grandes colonias en el sistema solar exterior. En tal caso, Titán podría ser una valiosa fuente de recursos. Claro que para entonces la gasolina no sería necesaria con fines energéticos, pues cabe suponer que las lejanas colonias dispondrían de reactores de fusión nuclear.

Pero aquellos mundos lejanos contendrían materiales de superficie compuestos de nitrógeno, carbono e hidrógeno, tres elementos esenciales para el mantenimiento de las colonias.

Estos elementos son relativamente raros en la mayoría de los mundos a los que podamos acercarnos. (La Luna, por ejemplo, no posee ninguno de ellos, por lo que sus colonizadores dependerán de la Tierra para su suministro.) Por consiguiente, los lejanos puestos avanzados estarían encantados de recibir lo que necesitasen de Titán y de Tritón.

EL DÉCIMO EVASIVO

Desde hace un siglo los astrónomos están buscando un planeta grande más allá de Neptuno, y no lo han encontrado.

Pero ahora tienen un nuevo instrumento que puede ayudarlos.

Es una sonda que sigue viajando, aunque está mucho más allá del planeta más exterior que conocemos.

Pero ante todo, ¿por qué piensan los astrónomos que existe este planeta?

Tras el descubrimiento de Urano, el séptimo planeta, en 1781, su órbita resultó ser ligeramente diferente de lo que se había calculado. Los astrónomos pensaron que tenía que haber un octavo planeta, más allá de Urano, que explicase la atracción de éste por una fuerza gravitatoria. A principios de la década de 1840, los astrónomos empezaron a calcular dónde debía estar el octavo planeta para justificar el movimiento real de Urano. En 1846 se exploró el lugar indicado en el cielo, y después de sólo media hora de búsqueda fue descubierto Neptuno, el nuevo planeta.

Por consiguiente, en 1900 los astrónomos empezaron a calcular la posible posición de un gran planeta más allá de Neptuno. Esta vez la búsqueda fue mucho más difícil. Cuanto más lejos está el planeta, menos brilla y más difícil es distinguirlo sobre un fondo de pálidas estrellas. Pero aún, cuanto más lejos está un planeta más lentamente se mueve y más difícil resulta distinguirlo de las inmóviles estrellas.

Sin embargo, en 1930 se descubrió un noveno planeta, Plutón. Estaba más allá de Neptuno y durante un tiempo pareció que el problema estaba resuelto. Pero cuanto más se estudiaba Plutón, más pequeño parecía ser. Ahora sabemos que es más pequeño que nuestra Luna y apenas mayor que un gran asteroide. Es demasiado pequeño para tener un efecto gravitatorio perceptible sobre Urano o Neptuno.

Esto significa que los astrónomos aún están buscando algún objeto grande más allá de Neptuno, algo que cuando se encuentre resulte el décimo planeta. Pero hasta ahora no ha sido avistado.

Sin embargo, en 1972 se lanzó camino de Júpiter una sonda espacial llamada *Pioneer 10,* y más tarde una sonda hermana, *Pioneer 11.* En 1973 y 1974, las sondas pasaron más allá de Júpiter, y desde entonces han seguido alejándose del Sol.

Ahora el *Pioneer 10* está mucho más allá de la órbita de Neptuno. Plutón se halla ahora ligeramente más cerca del Sol que Neptuno. Por consiguiente, el *Pioneer 10* está unos 1.600 millones de kilómetros más lejos del Sol que cualquier planeta conocido.

El *Pioneer 10* continúa emitiendo ondas de radio de una longitud de onda muy precisa. Esta longitud de onda cambia ligeramente con la velocidad de las sondas. Los astrónomos pueden calcular exactamente cómo cambian la velocidad y la longitud de onda debido a la atracción gravitatoria del Sol y de los distintos planetas conocidos.

Si hay algún cambio en la longitud de onda de radio diferente del que se ha calculado, tiene que ser resultado de una atracción gravitatoria. Hay tres posibles fuentes de tal atracción. Una de ellas es el cinturón de cometas lejanos que se presume que existe mucho más allá de las órbitas planetarias. Esto no es muy probable, porque los cometas se mueven en todas direcciones y las fuerzas de atracción tienden a anularse unas a otras. Una segunda fuente es una posible estrella enana que podría ser una lejana compañera del Sol.

Por último, una tercera posibilidad (la más probable) es el décimo planeta evasivo.

Pero en los últimos años no se ha detectado nada del *Pioneer 10* que indique la presencia de un campo gravitatorio insospechado. Esto se interpreta como que probablemente no hay allí una estrella compañera del Sol, ni siquiera un planeta realmente grande, por ejemplo de las dimensiones de Júpiter.

(Júpiter tiene una masa más de trescientas veces mayor que la de la Tierra.)

Pero podría existir un planeta moderadamente grande, digamos que con cinco veces la masa de la Tierra. No produciría ningún efecto sobre el *Pioneer 10,* si estuviese en una parte de su órbita donde la excesiva distancia impidiese efectos gravitatorios observables. (Una estrella compañera del Sol o un planeta de las dimensiones de Júpiter producirían algún efecto desde cualquier punto de una órbita razonable, pero no así un planeta más pequeño.)

Por consiguiente, el décimo planeta puede tener una órbita muy elíptica que le acerque bastante a los planetas exteriores sólo cada ochocientos años, más o menos. En tal caso estaría lo bastante cerca como para producir un efecto gravitatorio durante un centenar de años, y este efecto resultaría virtualmente nulo durante otros setecientos años.

Es posible por tanto que el décimo planeta estuviera lo bastante cerca para alterar muy ligeramente las órbitas de Urano y de Neptuno, entre 1810 y 1910, pero no a partir de entonces. No habría otro período de interferencia hasta el año 2500 aproximadamente. Y lo que es más, el planeta puede estar moviéndose en una órbita muy inclinada en relación con las de los otros planetas. Esto haría que pudiese estar presente en partes totalmente inesperadas del cielo, con lo que sería mucho más difícil de encontrar. Por tanto los astrónomos deben continuar buscando.

LA PEQUEÑA SONDA REVELADORA

Una sonda que fue lanzada desde la Tierra el 2 de marzo de 1972 aún se está alejando y nos envía útiles mensajes al cabo de casi dieciocho años.

Esta sonda es el *Pioneer 10,* cuya misión original era explorar Júpiter y sus alrededores. Pasó junto a Júpiter el 2 de diciembre de 1973, veintiún meses después de su lanzamiento, y ofreció a la humanidad una visión en primer plano de aquel planeta gigante. Acelerado por el campo gravitatorio de Júpiter, se adentró entonces en el sistema solar exterior, y a mediados de junio de 1983 había dejado atrás la órbita de Neptuno. Como Plutón no estaba entonces más lejos que Neptuno, el *Pioneer 10* había pasado más allá del sistema planetario.

Han transcurrido más años y aún prosigue su largo viaje, a más de 6.700 millones de kilómetros del Sol. La propia Tierra está sólo a 148 millones de kilómetros del Sol, una distancia a la que se da el nombre de «unidad astronómica» (UA). Esto significa que el *Pioneer 10* se encuentra ahora a unas 45 UA del Sol. El lejano planeta Plutón, en el punto más remoto de su órbita, está a 47 UA del Sol. Pero ahora se halla en el punto más próximo y no estará en el más lejano hasta dentro de un siglo. Desde esta enorme distancia, el *Pioneer 10* está enviando todavía ondas de radio, que son recibidas en la Tierra. Viajando a la velocidad de la luz, estas ondas tardan seis horas y cuarto en alcanzarnos.

Pero ¿qué puede encontrar el *Pioneer 10* y qué puede decirnos sobre el vasto vacío de más allá de los planetas?

Veamos una cosa. El Sol es caliente y activo, y proyecta al espacio partículas cargadas, principalmente protones y electrones. Estas viajan hacia fuera en todas direcciones y a grandes velocidades. Este fenómeno fue detectado por primera vez en 1962 por la sonda *Mariner* 2 al acercarse a Venus. Las veloces partículas reciben el nombre de «viento solar».

El viento solar es importante. Llega hasta la Tierra, produce las auroras en las regiones polares y llena el campo magnético de la Tierra de partículas cargadas. De vez en cuando se produce en el Sol una gran explosión llamada «erupción solar», y entonces el viento solar sopla con intensidad durante un tiempo, produciendo tormentas magnéticas en la Tierra y perturbando las telecomunicaciones. Las intensas concentraciones de partículas cargadas pueden ser una amenaza para la vida de los astronautas, por lo que la cuestión del viento solar será cada vez más importante a medida que nos adentremos más en el espacio.

Como el viento solar se mueve hacia fuera, se desperdiga y se hace menos denso. En definitiva, puede desvanecerse en débiles volutas de gas en el espacio exterior. Antes de que el *Pioneer 10* emprendiese su misión, los científicos creían que el viento solar se desvanecía poco más allá de la órbita de Marte.

Sin embargo, el *Pioneer 10,* que se halla a 45 UA del Sol, todavía detecta un perceptible viento solar, mucho más allá de la órbita de Neptuno. Los científicos creen ahora que el viento solar debe llegar hasta 50 o 100 UA del Sol antes de desvanecerse en el espacio interestelar. El *Pioneer 10* debería seguir enviando mensajes durante diez años más, y puede que capte el final del viento solar antes de desaparecer.

Hay algo más. Einstein, en su teoría general de la relatividad, predijo que todo objeto que se mueve a lo largo de una órbita emite «ondas gravitatorias», y que de este modo pierde energía. Pero las ondas son tan débiles que la pérdida de energía es infinitesimal.

Los científicos están ansiosos por detectar estas ondas gravitatorias. En primer lugar, esto sería otra prueba a favor de las teorías de Einstein. En segundo lugar, fenómenos violentos que afectasen a grandes masas –tales como el colapso o la colisión de estrellas, o las actividades de los agujeros negros– deberían liberar intensas ondas

gravitatorias que podrían dar informaciones sobre tales fenómenos que nada más podría ofrecer.

Por desgracia incluso las ondas gravitatorias más intensas son tan débiles que no tenemos instrumentos lo suficientemente sensibles para detectarlas. Los científicos han montado grandes cilindros de aluminio que tiemblan cuando pasan ondas gravitatorias por encima de ellos, Pero el temblor es más pequeño que el diámetro de un protón, y resulta difícil distinguirlo de todos los posibles fenómenos que podrían hacer temblar estos cilindros.

Sin embargo, el *Pioneer 10* está muy lejos en el espacio en una especie de «silencio» último, donde no hay nada que produzca vibraciones al viajar la sonda silenciosamente en el vacío. Lo único que puede alcanzarlo son las fuerzas gravitatorias que se expresan en aquellas débiles, debilísimas ondas.

A principios de 1989, el equipo a bordo del *Pioneer 10* estaba en condiciones de intentar detectar estas ondas. Si el experimento tiene éxito, se confirmará la última predicción importante de la teoría general de la relatividad de Einstein, y el *Pioneer 10* será una vez más la pequeña sonda reveladora.

UN EXTRAÑO SATÉLITE

El *Voyager* 2, que voló con éxito cerca de Urano en enero de 1986, ha estado viajando en dirección a Neptuno, el cuarto y más lejano de los planetas gigantes, y se acercaba a él en agosto de 1989. De esta manera podrá estudiar no sólo aquel planeta sino también sus dos satélites.

Probablemente el propio Neptuno resultará muy parecido a Urano. Desde luego es más frío por estar más lejos del Sol.

De los dos satélites de Neptuno, el llamado Tritón tiene aproximadamente tres mil ochocientos kilómetros de diámetro, o sea un poco más que nuestra Luna. Está tan lejos de Neptuno como la Luna de la Tierra. Es muy probable que Tritón se parezca mucho a Titán, el satélite más grande de Saturno, aunque Tritón será también más frío. Y es muy posible que Tritón, al igual que Titán tenga una atmósfera densa de nitrógeno y metano, y que en su superficie haya lagos y mares de nitrógeno líquido.

Pero Neptuno tiene un satélite más pequeño, Nereida, que puede ser noticia interesante para la sonda, ya que es un mundo realmente extraño.

Nereida está tan lejos de nosotros y es un satélite tan pequeño que no fue descubierto hasta 1949, un siglo después de que fueran descubiertos Neptuno y Tritón. Es difícil saber cuáles son sus dimensiones, pero dos astrónomos del Goddard Space Center, de Greenbelt, Maryland, Martha W. Schaefer y su marido, Bradley E. Schaefer, han calculado recientemente que tiene unos seiscientos cincuenta kilómetros de diámetro. Es por tanto un satélite pequeño, pero no minúsculo.

Pero su órbita es extraordinariamente rara. En un extremo se halla a una distancia de sólo 1.400 millones de kilómetros de Neptuno. Después se extiende hacia fuera y en el extremo opuesto está a 9.600 millones de kilómetros del planeta.

De todos los satélites es el que tiene la órbita más alargada.

Es posible que fuese un asteroide que se acercó demasiado a Neptuno en eras pasadas y que fuera capturado por éste. O tal vez fue uno de los pequeños cuerpos que se agruparon hace 4.500 millones de años para formar Neptuno, pero quedando tan lejos de los demás que consiguió conservar su independencia. Si fuese así, Nereida podría contarnos algo sobre los primitivos «planetesimales» a partir de los que se formaron los planetas exteriores.

Los Schaefer han estudiado Nereida desde la Tierra y han observado que la luz que refleja no es igual que la que se ve en cualquier asteroide o satélite. Esto parece indicar, por sí solo, que hay algo raro en Nereida.

Todavía más sorprendente es el hecho de que su luz es tan anormal como su órbita. La luz reflejada por Nereida varía de intensidad, haciéndose periódicamente más fuerte y más débil.

Esto no sería raro en sí mismo, ya que otros satélites y asteroides varían también de brillo. Pero en el caso de Nereida, la variación es muy grande. Los Schaefer dicen que en ocasiones es cuatro veces más brillante que en otras.

Por lo general un cambio periódico de brillo significa que un objeto astronómico está girando, y que visto desde cierto ángulo brilla más que visto desde otros.

Una razón de esto es que el objeto puede tener una forma irregular. Por ejemplo el asteroide Eros, que puede acercarse hasta 22 millones de kilómetros de la Tierra, tiene forma de ladrillo. Cuando gira de manera que el extremo estrecho del ladrillo está en nuestra dirección, refleja menos luz y parece más opaco que cuando el lado ancho está frente a nosotros.

Pero ¿puede ser esto así en el caso de Nereida? Un objeto irregular tiene que ser pequeño. Eros tiene sólo veinticuatro kilómetros de ancho. Un objeto grande tiene una fuerza de gravedad muy intensa y esto obliga a su material a apretarse en una esfera. Se calcula que cualquier objeto de más de 400 kilómetros de un lado a otro tiene que ser de forma esférica, y Nereida tiene 640 kilómetros. Por consiguiente, Nereida ha de ser una esfera y parecernos del mismo tamaño, sea cual fuere su posición.

Es posible por tanto que su superficie no sea uniforme.

Parte de ella puede ser clara (tal vez helada) y reflejar mucha luz. Otra parte puede ser oscura (tal vez rocosa) y reflejar poca luz. El planeta Plutón, por ejemplo, brilla y se oscurece cada 6,4 días. Esto representa su tiempo de rotación, al volver hacia nosotros zonas más brillantes y más oscuras.

Además el planeta Neptuno tiene un satélite llamado Japeto, cuya intensidad luminosa varía todavía más que la de Nereida. Japeto ha sido visto desde una relativa proximidad, y resulta que la mitad de su superficie está cubierta de hielo, y la otra mitad de alguna sustancia oscura.

Pero los astrónomos todavía no han descubierto cómo se convirtió Japeto en un satélite de dos tonos. ¿Es que sólo se formó hielo en la mitad de su superficie, o el hielo cubrió toda la superficie y la mitad de ésta fue cubierta después por otra sustancia más oscura? En este último caso, ¿cuál es la sustancia oscura, de dónde vino y por qué se concentró sólo en la mitad de la superficie?

Cuando el *Voyager 2* pase a tres millones de kilómetros de Nereida, quizás éste resulte otro satélite de dos tonos, y tal vez nos dé señales de cómo llegó a ser de esta manera, cosa que no ha hecho Japeto.

(NOTA: Este ensayo lo escribí antes de que el *Voyager 2* alcanzase Neptuno. Resultó que Neptuno es muy diferente de Urano, y Tritón muy diferente de Titán. No se recibió información importante respecto a Nereida. –I.A.)

¡CUIDADO CON LAS ERUPCIONES!

Hay un peligro para las vidas de los astronautas que siempre está presente, pero que hasta ahora han tenido la suerte de evitar. Es lo que se llama «erupciones solares». El Sol emite constantemente partículas cargadas en todas direcciones. Esta corriente de partículas cargadas (llamada «viento solar») puede ser mortal si es intensa; pero ordinariamente no lo es. Sin embargo, de vez en cuando una breve pero violenta

explosión desgarra alguna parte de la superficie del Sol. Es una erupción solar. Esta erupción produce un chorro temporal pero muy intenso de partículas cargadas hacia el espacio. Si la corriente ordinaria es un viento solar, ésta es un huracán.

Por ejemplo, en agosto de 1972 hubo una fortísima explosión, la más violenta que han observado los astrónomos desde que se controlaron por primera vez estas explosiones hace 130 años. Se produjo un haz de radiaciones intensas. Si unos astronautas protegidos sólo por los trajes espaciales hubiesen sido alcanzados por él, habrían resultado muertos. Por fortuna la explosión tuvo lugar entre los vuelos del *Apolo 16* y el *Apolo 17,* y entonces no había ningún ser humano en el espacio.

Pero la buena suerte no dura siempre, y sería muy útil que pudiésemos encontrar la manera de averiguar cuándo se produjeron estas explosiones en el pasado para ver si podemos observar alguna regularidad que nos permita predecir, al menos aproximadamente, cuándo es probable que se produzca la próxima erupción. Entonces podríamos hacer que los astronautas se mantuviesen a buen recaudo durante aquel período.

Pero ¿podemos mirar atrás en el tiempo para ver cuándo se produjeron las erupciones? Sí, podemos hacerlo. Veamos cómo.

Cuando una fuerte radiación alcanza la atmósfera de la Tierra, parte de aquélla tiene que chocar forzosamente con átomos de nitrógeno, y cuando esto ocurre a veces convierte los átomos de nitrógeno en lo que los científicos llaman «carbono 14». El carbono 14 es una variedad radiactiva de carbono que se desintegra lentamente hasta quedar a la mitad en 5.730 años. Aunque se desintegra, siempre se está formando más, de manera que hay un equilibrio y la atmósfera contiene siempre una pequeña cantidad de carbono 14.

Las plantas absorben dióxido de carbono del aire y lo convierten en las moléculas que constituyen el tejido vegetal.

La mayor parte del carbono que utilizan consiste en átomos corrientes y estables, pero también recogen una pequeña cantidad de carbono 14. Por consiguiente, las plantas contienen siempre algún carbono 14.

Pero cuando muere una planta deja de absorber dióxido de carbono, y el carbono 14 que contiene se descompone lentamente, sin ser repuesto. De ahí que el carbono 14 pueda emplearse para determinar la edad de la madera muerta.

Cuanto menor sea el contenido de carbono 14, mayor será el tiempo transcurrido desde que la madera fue parte de una planta viviente.

Es posible estudiar los anillos de los árboles, vivos y muertos, y deducir de ellos un calendario, ya que la forma en todo período dado de años es distintiva y única. Este calendario arbóreo ha sido seguido hacia atrás en más de nueve mil años.

El calendario de anillos arbóreos coincide con el del carbono 14, pues cuanto más vieja, es la madera, según el calendario de los anillos, más bajo es el contenido en carbono 14.

Y ahora viene lo más interesante. El carbono 14 es producido principalmente por los rayos cósmicos y por el viento solar. Ordinariamente, surten efectos regulares. De vez en cuando puede hallarse una supernova lo bastante cerca de la Tierra como para producir una oleada de rayos cósmicos, y de vez en cuando puede ocurrir una erupción de la que resulta una oleada de viento solar.

En cualquier caso, sea a causa de una supernova o de una erupción solar, hay una súbita y pequeña carga de carbono 14 en la atmósfera. La concentración no permanece alta, pues la aportación cesa rápidamente al calmarse la supernova o la erupción solar. Entonces se reduce la cantidad en la atmósfera. Sin embargo, mientras la concentración de carbono 14 es alta, las plantas lo absorben, concentrándole en sus tejidos.

La diferencia entre los dos efectos es que la explosión de una supernova sólo tiene lugar una vez cada varios siglos y generalmente es tan observable que sabemos cuándo ocurrió. En cambio la erupción solar se produce con mucha más frecuencia, aunque no fue observada hasta hace pocos años.

Si se analizan cuidadosamente los anillos de un árbol para conocer su contenido en carbono 14, puede suceder que un anillo lo tenga un poco alto, y puede determinarse el año en que se produjo esta elevación. Si aquel año no estalló ninguna supernova, no cabrá la menor duda de que en él tuvo lugar una importante erupción solar.

Los anillos de los árboles son particularmente útiles en Arizona, donde el clima seco conserva durante mucho tiempo la madera. Unos científicos, bajo la dirección de Paul E. Damon, de la Universidad de Arizona, están poniendo en marcha un proyecto de análisis de anillos de árboles en busca de carbono 14. Tal vez este trabajo permita determinar una serie de «años de erupciones», y quizá podrán relacionarse con el ciclo de las manchas solares. Entonces podríamos proteger mejor a los astronautas.

ROZANDO EL SOL

El peor desastre que puede ocurrirle a cualquier objeto en el sistema solar es chocar con el Sol. Pero hasta hace pocos años los científicos no habían visto nunca este acontecimiento, en parte porque los cuerpos más pequeños y difíciles de detectar son los que corren más peligro de acabar de esta manera. Pero este terrible final ahora ha podido ser observado por satélites especialmente destinados a estudiar la región solar.

Los cuerpos mensurables que se acercan más al Sol son los cometas. Cierto número de cometas tienen órbitas que los llevan al interior del sistema solar, lo hacen pasar rozando el Sol y los envían de regreso al vasto espacio, más allá de los planetas. Algunos se acercan al Sol más que otros, y por esto son llamados «sun-grazers» (rozadores o raspadores del Sol).

Los astrónomos, escrutando los cielos con sus telescopios situados en tierra, observaron en el pasado ocho de estos cometas, a ocho millones de kilómetros de la superficie del Sol o menos; en algunos casos, mucho menos. El más notable fue un cometa que rozó la superficie del Sol en 1963. En el punto de máximo acercamiento, se halló a 96.000 kilómetros por encima de la superficie del Sol, a sólo un cuarto de la distancia que separa la Luna de la superficie de la Tierra.

Si pudiésemos imaginarnos que estamos en la superficie del cometa en su máxima aproximación al Sol, veríamos que éste ocupa dos tercios de la distancia entre un horizonte y el otro, la mitad de toda el área del cielo. El cometa recibiría 53.000 veces más de calor y de luz que los que recibe la Tierra.

Se da el caso de que los cometas están formados principalmente por hielo. ¿Cómo pueden soportar aquel calor? ¿Por qué no se funden y evaporan inmediatamente y se desvanecen en una nube de vapor?

En primer lugar, los cometas no están mucho tiempo en las cercanías del Sol. La atracción gravitatoria de éste se hace mas fuerte cuanto menor es la distancia entre el cometa y el Sol, y esto significa que el cometa se acelera cada vez más. El cometa de 1963 se movía al menos a cien kilómetros por segundo al rozar el Sol. Pasó por delante de éste y empezó a alejarse en poco más de tres horas.

Incluso un período tan breve, estando tan cerca del Sol, podría parecer suficiente para acabar con la existencia del cometa, pero hay una circunstancia atenuante. El cometa empieza a fundirse y evaporarse, y en un santiamén se ve rodeado de una nube de vapor. Más aún, el cometa no está formado sólo por hielo; éste es un hielo sucio que contiene grandes cantidades de pequeñas partículas rocosas. La nube se compone por tanto de

vapor y polvo. Esto refleja mucha luz del Sol y resguarda al cometa, el cual consigue así pasar y empezar su retirada, intacto en su mayor parte.

Pero se ve gravemente afectado por el acercamiento. Algunos cometas realmente grandes que se acercan mucho al Sol desprenden nubes de vapor y polvo que son empujadas hacia fuera, lejos del Sol, formando una larga cola. En 1843 hubo un cometa que formó una cola de 300 millones de kilómetros de longitud, estirándose desde las proximidades del Sol hasta más allá de la órbita de Marte. Evidentemente, perdió buena parte de su masa en aquella sola pasada.

En algún tiempo remoto, uno de estos cometas debió resultar perjudicado por el calor del Sol que se rompió en pedazos. Ciertamente los ocho que han sido detectados en años pasados por los telescopios eran probablemente pedazos del mismo cometa original. Todos siguieron aproximadamente la misma órbita.

Indudablemente se han formado trozos más pequeños, demasiado pequeños para ser detectados antes de acercase al Sol para formar nubes de vapor, y entonces son invisibles bajo el resplandor del Sol.

Pero ahora hay un satélite llamado *Solar Maximum Mission,* abreviadamente *Solar Max*, que tiene por objeto estudiar la zona próxima al Sol. Puede hacerlo porque posee un «coronágrafo» que cubre el disco solar, de manera que puede verse la parte de cielo próxima a él.

En octubre de 1987, *Solar Max* fotografió dos rayas cerca del Sol que parecían cometas con las colas extendidas en dirección contraria a aquél. Entraron en la región bloqueada por el coronágrafo de manera que cabía suponer que pasaban por detrás de la cara oculta del Sol y que en definitiva saldrían por el otro lado de la región oscurecida.

Pero según se anunció en julio de 1988, nunca lo hicieron.

Suponiendo que su aparición no fuese pasada por alto por alguna razón, hay que llegar a la conclusión de que se evaporaron totalmente. También es posible que se adentrasen tanto en la atmósfera del Sol que sus órbitas degenerasen y fuesen a parar dentro del mismo Sol.

Probablemente esto ocurre de vez en cuando, y más frecuentemente con objetos todavía más pequeños, como los que llamaríamos meteoritos si cayesen en la Tierra. Pero este triste destino está reservado exclusivamente a objetos pequeños con órbitas alargadas. Siempre que el sistema solar continúe como hasta ahora, los verdaderos planetas con órbitas casi circulares, como la Tierra, están completamente a salvo. No chocarán con el Sol.

LA NUBE INVISIBLE

Hay una parte del sistema solar que nadie ha visto jamás, pero que casi todos los astrónomos están seguros de que existe. En Julio de 1987, tres astrónomos soviéticos presentaron argumentos en el sentido de que la porción invisible es mucho más grande e importante de lo que se suponía.

Su teoría empezaba por los cometas. Siempre hay cometas que surcan el sistema planetario. ¿De dónde vienen?

En 1950, un astrónomo holandés, Jan Hendrik Oort, sugirió que más allá del planeta conocido más lejano hay una vasta nube de pequeños cuerpos helados. Sostenía que cada uno de ellos gira lentamente alrededor del Sol en una órbita que tarda millones de años en completarse, y que en total puede haber miles de millones de estos objetos.

De vez en cuando, algo –una colisión con otro pedazo de materia helada o el «tirón» gravitatorio de un astro próximo– hace que uno de los objetos helados reduzca su velocidad y caiga en dirección al Sol. Pasa entre los planetas y al acercarse al Sol su

hielo se evapora y el polvo que contenía sale de la superficie y forma un vapor alrededor del objeto. Este vapor es empujado hacia atrás por el viento solar formando una larga cola, y el objeto se convierte en lo que llamamos «cometa».

Pasa alrededor del Sol y se dirige de nuevo a la lejana nube.

Pero de vez en cuando uno de estos cometas es atraído por la fuerza de la gravedad de un planeta, como el cometa Halley, y entonces permanece entre los planetas para siempre.

Se convierte en un «cometa de periodo corto», volviendo a las cercanías del Sol a intervalos de pocos años o decenios.

¿Qué dimensiones tiene esta «nube de Oort» de cometas lejanos? Para calcularlo debemos tener alguna idea de lo grande que es un cometa típico. Durante el reciente acercamiento del Halley, se enviaron sondas para que pasaran cerca de él y tomaran ciertas medidas. Resultó que el cometa Halley era considerablemente mayor de lo que se suponía. Es un cuerpo irregular, pero su diámetro medio es de unos 12 kilómetros y contiene unos 224 kilómetros cúbicos de hielo. Esto representa unos 30.000 millones de toneladas de hielo: un témpano de gran tamaño.

Los astrónomos soviéticos presentaron argumentos para suponer que el Halley es un cometa típico y que la nube de Oort está constituida por objetos de 30.000 millones de toneladas de peso, por término medio.

Cálculos recientes sugieren que la parte más gruesa de la nube de Oort está a una distancia de 3,2 a 6,4 billones de kilómetros del Sol, es decir, de mil a dos mil veces más lejos que el más distante planeta conocido, y ésta es la razón de que los objetos no puedan ser vistos. Están demasiado lejos. Los cálculos más recientes sobre el número de cometas que pueden existir en esta nube es aproximadamente de dos billones (2.000.000.000.000)

Si hay tantos objetos, cada uno de ellos con una masa igual a la del cometa Halley, la masa total de la nube de Oort es aproximadamente cien veces mayor que la de la Tierra. Esto significa que la masa total es semejante a la de Saturno, el segundo planeta más grande. Esto representa unas dimensiones mil veces mayores que las que habían sido previamente calculadas, que convierten a la nube en una porción del sistema solar mucho más importante de lo que se presumía.

Y hay algo más. Cada cuerpo del sistema solar gira alrededor de su eje, y cada uno de ellos, a excepción del propio Sol, gira alrededor de éste. Todo este giro de un objeto sobre sí mismo y alrededor de otros se mide como «momento angular», una propiedad importante de todos los objetos, desde las estrellas hasta los electrones. Hay dos factores que determinan lo grande que debería ser el movimiento angular: la masa del objeto y la distancia de éste al centro alrededor del cual gira.

El Sol tiene una masa mil veces mayor que todos los planetas juntos y otros cuerpos que giran a su alrededor, de manera que se podría pensar que concentra casi todo el momento angular del sistema solar. Sin embargo, el Sol sólo gira alrededor de sí mismo. Sus diversas partes no están muy lejos de su centro; sólo a unos 700.000 kilómetros como máximo.

Los planetas, aunque mucho más ligeros que el Sol, se mueven en grandes órbitas que los colocan a cientos de millones de kilómetros de aquél. La distancia compensa sobradamente la ligereza de los planetas. Resultado de ello es que el Sol tiene sólo el 2 por ciento del momento angular del sistema solar. Los planetas tienen el 98 por ciento restante.

De hecho, aunque Júpiter es el planeta más grande, con una masa de sólo una milésima de la del Sol, tiene un momento angular aproximadamente treinta veces mayor.

Pero ¿qué decir de los cometas, que individualmente son pequeños pero que giran a una distancia de billones de kilómetros del Sol? Los astrónomos soviéticos calculan que los cometas tienen un momento angular diez veces mayor que el de todo el resto del sistema solar junto. Esto significa que el 90 por ciento del momento angular está en los cometas; el 9,8 por ciento en los planetas, y el 0,2 por ciento en el Sol. Si esto es así, tendremos que revisar nuestras nociones sobre los orígenes del sistema solar.

Desde hace cuarenta años, los científicos han resuelto la manera en que el momento angular se transfirió del Sol a los pequeños planetas cuando se formó el sistema solar. No fue tarea fácil, y si tienen que averiguar cómo se transfirió todo aquel momento angular a la lejana nube de Oort, la cosa será aún mucho más difícil.

¿QUÉ IMPORTANCIA TIENE UN NOMBRE?

Como humanos que son, a veces los científicos se enzarzan en discusiones bastante triviales. Por ejemplo, ahora algunos astrónomos discuten acaloradamente si hay que llamar planeta o asteroide a Plutón.

Plutón fue descubierto en 1930 y se averiguó que giraba alrededor del Sol a una distancia media mayor que la de cualquier otro planeta. Nadie dudaba de que era un planeta, y así ha sido llamado desde hace más de cincuenta años. La pega está en su tamaño.

Cuando fue descubierto se creyó que era un poco más grande que la Tierra, pero estaba tan lejos que sólo podía verse como un punto luminoso y era imposible medir su tamaño.

Pero poco a poco se fue reuniendo información sobre él, y cuanto más aprendían los astrónomos más pequeño resultaba Plutón. Hace pocos años se descubrió que tenía un satélite, Caronte, y cuando el sistema Plutón-Caronte pasó por delante de una estrella, pudieron medirse muy bien sus dimensiones.

Ahora creemos que el diámetro de Plutón es aproximadamente de 2.270 kilómetros, o sea sólo tres cuartas partes del de la Luna. Como Plutón está hecho de material helado ligero, tiene una masa equivalente a un sexto de la de nuestra rocosa Luna. Por consiguiente algunos astrónomos, contrariados, sostienen que Plutón es demasiado pequeño para ser considerado un planeta y que debería degradarse a la categoría de asteroide.

En realidad hay tres clases de cuerpos en el sistema solar.

Primero el Sol, que es tan enorme (333.000 veces la masa de la Tierra) que soporta la fusión de hidrógeno en su centro y resplandece con luz y calor.

Segundo los planetas, que son cuerpos oscuros que giran alrededor del Sol.

Y tercero los satélites, que son cuerpos oscuros que giran alrededor de los planetas.

Es imposible confundir estas tres clases de cuerpos. Un cuerpo es un sol, un planeta o un satélite, y podemos decir al instante lo que es cada cual.

Pero los planetas tienen una gran variedad de tamaños. Los astrónomos se dieron cuenta de ello en la primera década del siglo pasado, cuando fueron descubiertos cuatro planetas considerablemente más pequeños que todos los demás. Giraban alrededor del Sol entre las órbitas de Marte y Júpiter. Desde entonces se han descubierto en la misma región miles de otros pequeños planetas.

Estos pequeños planetas fueron llamados «asteroides», que significa «parecidos a estrellas», porque eran tan pequeños que parecían puntos de luz en el telescopio, como las estrellas, en vez de expandirse en círculos luminosos como hacían los planetas más grandes.

Pero los asteroides son planetas. Giran como los demás planetas alrededor del Sol, y la cuestión del tamaño es secundaria. En realidad se puede hablar de «planetas mayores», refiriéndonos a los grandes, y «planetas menores», refiriéndonos a los pequeños. No hay gran necesidad astronómica de hacer esta división, aunque los hombres siempre tenemos la costumbre de clasificar las cosas. Pero si hacemos la división, se plantea el problema de dónde trazar la línea entre los planetas mayores y los menores.

Antes del descubrimiento de los asteroides, el planeta conocido más pequeño era Mercurio, que tiene un diámetro de 4.820 kilómetros, aproximadamente dos quintos del de la Tierra y sólo una treintava parte del planeta más grande, o sea Júpiter. Mercurio es un mundo pequeño, pero siempre ha sido considerado como un planeta y a nadie se le ha ocurrido llamarlo de otro modo.

En cuanto a los asteroides o planetas menores, el que se descubrió primero (1 de enero de 1801) es también el más grande. Fue llamado Ceres y tiene un diámetro de 1.024 kilómetros, equivalente a un poco más de un quinto del de Mercurio, y una masa de sólo media centésima de la de Mercurio, Como puede verse, hay una gran diferencia entre Mercurio y Ceres. Hasta hace pocos años, parecía razonable decir que un planeta mayor tenía las dimensiones de Mercurio o más, y que un planeta menor (o asteroide) tenía las dimensiones de Ceres o menos. En 180 años no se había hallado ningún objeto planetario que confundiese el asunto por encontrarse en un plano intermedio entre Mercurio y Ceres.

Pero entonces se determinó al fin el tamaño de Plutón. Si su diámetro es aproximadamente de 2.270 kilómetros, es dos veces y media mayor que el de Ceres, y Mercurio tiene un diámetro de un poco más del doble del de Plutón. En términos de masa, Plutón tiene tal vez dieciséis veces más masa que Ceres, y Mercurio aproximadamente dieciséis más que Plutón.

Dicho en pocas palabras, Plutón está a medio camino entre Mercurio y Ceres. Entonces, ¿en qué lado de la frontera deberíamos colocarlo? ¿Deberíamos considerarlo un planeta mayor o un planeta menor (asteroide)? Podríamos hacer cualquiera de las dos cosas.

En realidad poco importa, pero para evitar la polémica de los astrónomos, me permito una sugerencia: ¿Por qué no llamar «mesoplaneta», y que «meso» significa «intermedio» en griego, a cualquier planeta más pequeño que Mercurio y más grande que Ceres? Plutón sería el único mesoplaneta conocido hasta la fecha. ¿No sería lógico?

PLUTÓN Y CARONTE: DOS MUNDOS HERMANOS

El mundo menos conocido del sistema solar es Plutón, pero ahora estamos averiguando algunas cosas interesantes sobre él gracias a un extraordinario golpe de suerte.

En 1978, el astrónomo James W. Christy descubrió que Plutón tenía un satélite, al que llamó Caronte por el nombre del barquero de la mitología griega que transportaba las almas de los muertos a través del río Estige hasta el reino subterráneo de Plutón. Cada 124 años Caronte inicia un período quinquenal durante el cual, visto desde la Tierra, pasa directamente por delante de Plutón y después por detrás, describiendo una órbita completa en 6,4 días. Este período de eclipses regulares corresponde a cuando Plutón está más lejos del Sol, y de nuevo a cuando está más cerca de él.

Se da el caso de que Caronte fue descubierto precisamente antes de que empezase su período quinquenal de eclipses, y los astrónomos todavía están observando ávidamente los efectos. Además, Plutón está ahora en el punto más próximo de su órbita, lo cual

quiere decir que se halla en la mejor posición para ser estudiado desde la Tierra. Si Caronte hubiese sido descubierto sólo cinco años más tarde, los astrónomos habrían perdido su gran oportunidad y habrían tenido que esperar dos siglos y medio los siguientes eclipses en el punto más próximo (aunque seguramente habríamos enviado antes sondas a Plutón).

Lo primero que los astrónomos han podido determinar durante los eclipses es el tamaño de los dos cuerpos. Midiendo el tiempo que tarda Caronte en cruzar la faz de Plutón a la velocidad que sabemos que lleva el satélite, se pueden calcular las dimensiones de Plutón y de Caronte. Así se pudo determinar que Plutón tiene sólo unos 2.270 kilómetros de diámetro.

Esto lo convierte en el más pequeño de los planetas. En realidad es más pequeño que los siete satélites más grandes del sistema solar. Por ejemplo, sólo tiene un décimo de la masa de nuestra Luna. Pero no sería justo llamar asteroide a Plutón.

Plutón es un cuerpo intermedio: muy pequeño para ser un planeta y muy grande para ser un asteroide.

Caronte es todavía más pequeño. Sólo tiene 1.280 kilómetros de diámetro, lo cual equivale a la mitad del de Plutón.

Esto hace que el conjunto Plutón-Caronte sea lo más parecido que conocemos a un planeta doble. Hasta el descubrimiento de Caronte, el sistema Tierra-Luna fue lo más parecido a un planeta doble, pero la Luna tiene sólo una cuarta parte del diámetro de la Tierra.

Cuando dos mundos están cerca el uno del otro los efectos de marea retrasan sus rotaciones. Así, el efecto de marea de la Tierra ha retrasado la rotación de la Luna hasta el punto de que ésta muestra sólo un hemisferio a la Tierra al girar a nuestro alrededor. La rotación de la Tierra se retrasa también debido al efecto de marea de la Luna, pero la Tierra es tan grande que aquel efecto hasta ahora sólo ha sido parcial.

Pero Plutón y Caronte están únicamente a una distancia de 19.600 kilómetros, o sea una veintava parte de la que hay entre la Tierra y la Luna, y esto acrecienta en gran manera el efecto de marea Plutón-Caronte. Además, Plutón y Caronte son tan pequeños que el retraso se produce más fácil y rápidamente.

El resultado es que las rotaciones de ambos mundos se han retrasado hasta el punto de que cada uno muestra sólo un hemisferio al otro. Se enfrentan de manera permanente y giran uno alrededor del otro como si fuesen las dos mitades de una pesa de gimnasia. Son los únicos dos mundos del sistema solar que giran de esta manera, uno alrededor del otro.

Durante los eclipses, los astrónomos tienen la oportunidad de aprender más sobre la constitución de Plutón y de Caronte, estudiando la luz infrarroja que reflejan. Cuando Caronte está detrás de Plutón, vemos únicamente la luz reflejada de éste.

Cuando Caronte sale de detrás de Plutón, vemos la luz reflejada de ambos, y si restamos el reflejo de Plutón, sólo tenemos la luz reflejada por Caronte.

Partiendo de esta luz reflejada, en marzo de 1987 los astrónomos de la Universidad de Arizona empezaron a deducir la naturaleza química de aquellos mundos y de sus atmósferas.

Han descubierto por ejemplo que la superficie de Plutón parece rica en metano, una sustancia que en la Tierra es parte importante del gas natural que consumimos como combustible. El metano se congela a una temperatura muy baja, de manera que incluso a la temperatura de Plutón, que puede ser de -204 °C (-400 F), parte de él se evaporará y convertirá en gas. Parece por tanto que Plutón tiene una atmósfera de gas metano de una densidad aproximada de una nueve-centésima de la Tierra (o el décimo de la densidad de la tenue atmósfera de Marte).

Naturalmente la temperatura es más baja en los polos de Plutón, por lo que hay allí más metano congelado. Plutón puede tener casquetes polares de metano que aumentan cuando se aleja del Sol.

Los astrónomos se sorprendieron al ver que la luz reflejada por Caronte era muy diferente de la de Plutón. Debido a que aquél es más pequeño que éste, tiene menos tracción gravitatoria. No puede retener tan bien las moléculas de metano gaseoso, y el metano se ha escapado de él durante los miles de millones de años de existencia del sistema solar.

Lo que queda es agua congelada, que no se evapora a las frígidas temperaturas de Caronte y que por tanto no se pierde.

En consecuencia, mientras Plutón tiene una superficie de metano y una atmósfera muy tenue también de metano, Caronte está helado y no tiene una atmósfera significativa.

Antes del descubrimiento de Caronte en 1978, los astrónomos no habrían podido imaginar que consiguieran tan pronto una información tan detallada sobre el lejano Plutón.

EL CASO DEL «PLANETA» DESAPARECIDO

La ciencia tiene sus contratiempos. De vez en cuando, un descubrimiento que parece muy satisfactorio y que anuncia otros se desvanece de repente. ¡Lástima!

Por ejemplo, cualquier objeto que sea lo suficientemente grande (de al menos una décima parte de la masa del Sol), se calentaría tanto en el centro, al formarse, y ejercería tanta presión gravitatoria allí, que sus átomos centrales se romperían y fundirían, produciendo enormes cantidades de radiación. Dicho en otras palabras, un objeto que sea lo suficientemente grande sufre una «combustión nuclear» y se convierte en una especie de bomba de hidrógeno cósmica a la que llamamos estrella. Cuanto mayor sea la masa, más grande, caliente y brillante será la estrella.

Júpiter, el planeta más grande que conocemos, tiene sólo una masa igual a una milésima de la del Sol. No es lo suficientemente pesado como para iniciar las reacciones nucleares en su centro, y por esto no brilla. Sólo lo vemos por la luz reflejada del Sol. Si estuviese solo en el espacio, sin ninguna estrella cerca de él, sería completamente oscuro. Sería una «enana negra»: negra porque no brillaría, y enana por su pequeño tamaño.

Nunca hemos localizado planetas que giren alrededor de otras estrellas. En primer lugar, la luz que reflejarían sería muy pálida, dada la gran distancia de otras estrellas. En segundo lugar, la débil luz sería anulada por el brillo de la estrella próxima alrededor de la cual giraría.

Pero supongamos que alguna estrella tuviese un planeta con una masa cincuenta veces mayor que la de Júpiter. Esto todavía no sería suficiente para provocar las reacciones nucleares, pero su interior podría ser lo bastante caliente como para hacer que la superficie del planeta irradiase grandes cantidades de luz infrarroja e incluso un poco de pálida luz visible. Esto no sería mucho pero haría que el objeto fuese más perceptible que si brillase sólo con luz reflejada. Tal objeto, de tamaño intermedio entre un planeta grande y una estrella pequeña, podría llamarse «enana parda», no del todo negra.

En 1985 fue detectado un objeto muy cerca de la pequeña estrella Van Biesbroek 8 (VB 8). VB 8 era bastante opaca, pero el nuevo objeto lo era todavía más, y la luz que emitía era principalmente infrarroja, que es menos energética que la luz visible. La luz era exactamente igual que la que habría cabido esperar de una enana parda, y los

astrónomos que la detectaron por primera vez en el observatorio de Kitt Peak, en Arizona, estaban seguros de que aquello era lo que habían observado. Lo llamaron Van Biesbroek 8B (VB 8B).

Hubo alguna controversia sobre si había que llamar a VB 8B planeta muy grande, de aproximadamente cincuenta veces la masa de Júpiter, o estrella, muy pequeña, de aproximadamente una veintava parte de la masa de nuestro Sol, La mayoría se inclinó por considerarlo un planeta muy grande. Si era tal como lo llamaban, habría sido el primer planeta detectado que estuviese girando alrededor de una estrella diferente del Sol.

Lo apasionante era que ahora que se había descubierto una enana parda (un tipo completamente nuevo de objeto celeste), las mismas técnicas revelarían tal vez muchas otras. El estudio de tales objetos podría darnos nuevas ideas sobre lo que ocurre en el centro de los cuerpos masivos, y podríamos comprender mejor todas las estrellas, incluido nuestro Sol.

En realidad, incluso era posible que hubiese tantas enanas pardas en el universo que resolviesen otro enigma. Las estrellas que vemos parece que constituyen sólo el 10 por ciento de la masa que aparentemente tiene el universo. Tal vez, el otro 90 por ciento está constituido por enanas pardas.

Desgraciadamente, después del descubrimiento de VB 8B, no se han producido más de este tipo. Tal vez había de esperarlo. Eran objetos dudosos, muy difíciles de ver, y podría ser que nuestros instrumentos astronómicos no fuesen bastante potentes para la tarea. Algún avance más y podrían detectarse enanas pardas por todas partes. Quizás.

Entonces ocurrió algo peor. En verano de 1986, los descubridores quisieron echar otro vistazo a VB 8B y se encontraron con que no podían localizarlo. Un segundo grupo que trabajaba con un telescopio de infrarrojos en Mauna Kea, Hawai, tampoco pudo encontrarlo.

¿Qué había ocurrido? Desde luego VB 8B no podía haberse trasladado. Si era un planeta que giraba alrededor de la estrella opaca VB 8, estaría en órbita a su alrededor, lo mismo que se mueve Júpiter alrededor del Sol. En tal caso podía ser que desde la última vez que había sido vista, la enana parda VB 8B hubiese pasado detrás de la estrella VB 8, o al menos lo bastante cerca de ella como para perderse en su resplandor.

Sin embargo, para hacer esto en el tiempo transcurrido desde su descubrimiento habría tenido que ser muy masivo.

(Cuanto mayor es la masa de un objeto, mayor es la atracción gravitatoria entre él y otro objeto masivo, y más rápido el movimiento de uno alrededor del otro.) De hecho, su masa tendría que ser tan grande que habría alcanzado las reacciones nucleares y brillaría como una estrella.

Esto no podía ser. Entonces, ¿qué otra solución podía haber? Bueno, era posible que hubiese habido algún error en la primera observación y que VB 8B no existiese. Y esto es una contrariedad casi más grande que el propio objeto.

(NOTA: Desde que escribí este ensayo, se han dado a conocer otras enanas pardas; véase LOS OBJETOS INTERMEDIOS Y LA MASA OCULTA pág. 173. -I.A.)

LA LUNA DESCENDENTE DE MARTE

Debe de haber muchos niños que miran la Luna y se preguntan por qué no cae.

Pues no cae. Por el contrario, se aleja poco a poco de nosotros. Pero hay otras lunas que están cayendo. A finales de 1988, tres astrónomos británicos, desde un observatorio de las islas Canarias, llevaron a cabo unas mediciones de los movimientos de Fobos, una de las lunas de Marte, que hacen que el asunto sea indiscutible.

Consideremos primero nuestra Luna. La Luna se mueve en órbita alrededor de la Tierra, y si fuese una esfera perfecta y la Tierra también lo fuese, y no hubiese interferencias desde el exterior, la Luna seguiría en su órbita, sin cambiar, durante un período indefinido.

Pero la Luna tira del lado más próximo de la Tierra con más fuerza que del lado más lejano, y esta diferencia da lugar a la aparición de mareas, fenómeno que por ello se denomina «efecto de marea». El efecto de marea de la Luna hace que aparezca un abultamiento en lados opuestos de la superficie de la Tierra.

La Luna tira de aquel abultamiento, y el abultamiento tira de la Luna. Sin embargo, la Tierra gira sobre su eje en un día, y la Luna gira alrededor de la Tierra en 27,33 días. Esto significa que el abultamiento tiende a ser arrastrado por la rotación de la Tierra, de manera que siempre está ligeramente por delante de la Luna.

Esto quiere, decir que la Luna tira hacia atrás del abultamiento, tendiendo a retrasar la rotación de la Tierra, mientras que aquél tira de la Luna, tendiendo a aumentar su velocidad.

El efecto es muy pequeño, pero se puede medir. Debido al efecto de marea, el día de la Tierra se alarga un segundo cada 62.500 años.

Esto no va a afectarnos perceptiblemente durante nuestra vida, ni siquiera en toda la duración de nuestra civilización, pero se va acumulando.

Hace 400 millones de años, el día duraba sólo 22 horas y 13 minutos, de modo que el año tenía 395 días. (El efecto de marea no cambia la duración del año.) Esto se ha demostrado gracias a restos fosilizados de coral. Como los depósitos de calcio en el coral crecen diariamente, más deprisa de día que de noche, y más en verano que en invierno, producen algo parecido a los anillos de los árboles, y los fósiles de 400 millones de años demuestran irrebatiblemente que el día era entonces mas corto.

De la misma manera, la Luna, que está continuamente obligada a moverse un poco más deprisa, tiene una órbita que se extiende hacia fuera a causa de este movimiento más rápido. Después de cada revolución, la Luna está aproximadamente dos milímetros más cerca de la Tierra. Esto no es suficiente para advertirlo de una revolución a otra, pero también se va acumulando.

Así, vista desde la Tierra, la Luna es un disco aproximadamente del mismo tamaño que el del Sol, visto también desde la Tierra. Esto significa que de vez en cuando la Luna pasa por delante del Sol (tal como lo vemos desde la Tierra) y presenciamos un bello eclipse total. Pero al apartarse la Luna de la Tierra, su tamaño aparente disminuye mientras que el del Sol no varía.

Dentro de unos 750 millones de años la Luna parecerá lo bastante pequeña como para que nunca vuelva a haber un eclipse total de Sol, ya que éste no quedará del todo cubierto por el disco de la Luna. Pero creo que deberíamos considerar un futuro muy lejano para preocuparnos por esto.

¿Y qué decir de Fobos, el satélite más cercano a Marte? Es un pequeño cuerpo en forma de patata, de unos 27 kilómetros en su diámetro más largo. Gira alrededor de Marte a sólo 9.340 kilómetros de su superficie. También produce un abultamiento en la superficie de Marte, por un efecto de marea.

Como Fobos es mucho más pequeño que nuestra Luna, produce un abultamiento más pequeño, que tiene muy poco efecto sobre Marte. En cambio el pequeño abultamiento de éste produce un gran efecto sobre el pequeño satélite.

Marte gira sobre su eje en 24,5 horas. En cambio Fobos está tan cerca de Marte (mucho más cerca de lo que está la Luna de nosotros) que gira a su alrededor en sólo 7,65 horas.

Fobos se adelanta en su carrera a la superficie de Marte, saliendo por el oeste y poniéndose por el este. Aquel movimiento hace que se adelante ligeramente al abultamiento que produce, de modo que su fuerza de atracción gravitatoria acelera muy ligeramente la rotación de Marte, mientras que el abultamiento de éste tira de Fobos y lo frena.

Al disminuir la velocidad de rotación, Fobos se acerca cada vez más a Marte. Cada año pasa 3,8 centímetros más cerca de Marte, y su período de rotación disminuye unas pocas centésimas de segundo. Las mediciones efectuadas desde las islas Canarias, a finales de 1988, demuestran que en los últimos diez años Fobos se ha acercado 35 centímetros a Marte.

Y cuanto más se acerca, más crece el abultamiento y más rápidamente pierde altura Fobos. En definitiva, al acercarse más a Marte, la intensificación del campo gravitatorio de éste destrozará a Fobos, que caerá en fragmentos sobre el planeta.

Fobos ha estado girando alrededor de Marte tal vez durante miles de millones de años, y ahora tenemos la apasionante ocasión de verle en las últimas fases de su vida.

Estas últimas fases, cortas para un astrónomo, serían largas para cualquiera, desde luego. Todavía han de pasar unos 38 millones de años antes de que Fobos se fragmente y caiga, así que no se asusten ustedes.

A VUELTAS CON LA VIDA EN MARTE

Posiblemente, sólo posiblemente, hemos descubierto materia orgánica en la superficie de Marte, y por consiguiente existe una débil esperanza de que pueda haber vida allí o de que la haya habido hace tiempo.

En 1976, Estados Unidos colocó dos sondas *Viking* en la superficie de Marte. Las sondas se posaron sobre suelo de Marte e hicieron pruebas que se esperaba que indicasen si había allí vida microscópica. Algunas de estas pruebas dieron resultados ambiguos. Los científicos no podían saber, basándose en ellas, si había realmente vida o si los resultados se debían a alguna química extraña que nada tenía que ver con la vida.

Pero una de las pruebas pareció indicar que no había materia orgánica en el suelo ni material que contuviese carbono. Porque la vida, tal como la conocemos, depende totalmente de materias que contienen carbono; sin éstas no hay vida. Así pues se pensó que casi con toda seguridad no había vida en Marte. Pero ahora los científicos han reconsiderado la cuestión. No se han enviado nuevas sondas a Marte para investigar; pero algo de Marte puede haber llegado hasta nosotros.

La cosa ocurrió de la siguiente manera. Desde hace más o menos una docena de años, los científicos han estado recogiendo meteoritos en la Antártida. En la mayor parte de los lugares del mundo es muy difícil saber si algo es realmente un meteorito, a menos que se haya visto caer. Una vez en tierra es muy parecido a una piedra ordinaria, a menos que se analice químicamente y con mucha atención, y sería sumamente difícil analizar todas las piedras que llenan la Tierra.

En cambio, en el vasto casquete de la Antártida no hay más que hielo. Si se encuentra alguna piedra encima de él, sólo puede ser un meteorito. Por esa razón los científicos han recogido ahora un número considerable de piedras de la Antártida, que tienen la seguridad de que son meteoritos. Y lo que es más, los meteoritos que han caído en cualquier otra parte de la Tierra están degradados por el agua líquida y han sido invadidos por vida microscópica. En cambio, en la Antártida sin vida, y con agua sólo congelada, los meteoritos no han sido tocados y están exactamente igual que cuando cayeron.

Algunos de estos meteoritos tienen la misma composición que las rocas lunares traídas por los astronautas. La impresión es que el bombardeo de la Luna que produjo sus cráteres debió levantar trocitos de su superficie y enviarlos volando hacia la Tierra. Unos pocos meteoritos Antárticos contienen trazas de gas que tiene la misma composición que la atmósfera marciana, y muchos astrónomos están convencidos de que proceden de Marte.

Uno de estos meteoritos fue cuidadosamente analizado a principios de este año por un equipo de astrónomos británicos dirigidos por Ian P. Wright. En él se encontraron pequeñas cantidades de dos clases diferentes de compuestos que contenían carbono. Uno consistía en pequeñas porciones de carbonato cálcico, o sea de piedra caliza ordinaria. En cambio el otro consistía en compuestos orgánicos cuya exacta naturaleza aún no ha sido identificada, pero que probablemente guardan relación con la clase de materias que se encuentran en los tejidos vivos.

De esto se desprende que si el meteorito procedía efectivamente de Marte y es representativo de la superficie marciana, tiene que haber compuestos orgánicos en aquella superficie a pesar de las pruebas realizadas por las sondas *Viking.* A fin de cuentas, éstas aterrizaron en dos puntos muy poco separados, de una vasta superficie planetaria, y pudieron hacerlo muy bien en lugares que no contuviesen materia orgánica. Y si hay materia orgánica en la superficie marciana, entonces puede existir en ella alguna forma de vida, posiblemente muy primitiva, o haber existido en el pasado.

Pero aunque el meteorito procediese de Marte, ¿vino de allí la materia orgánica? Después de todo, el meteorito llegó a la Tierra porque Marte recibió un golpe de otro cuerpo que envió trozos de aquél al espacio. Dicho cuerpo pudo haber sido un cometa, y sabido es que los cometas están hechos en parte de compuestos que contienen carbono. En tal caso el meteorito puede ser de Marte, pero la materia orgánica del cometa.

Hay dos variedades de carbono; el carbono 12 y el carbono 13. Las proporciones relativas de ambos son ligeramente diferentes en la Tierra y en los materiales de los cometas. Algunos astrónomos observan que en los meteoritos la proporción no es la que se encuentra en los cometas, sino que es característica de un origen terrestre. ¿Fueron los meteoritos contaminados, de alguna manera, mientras eran manipulados, conservados y en definitiva analizados por los científicos que los recogieron?

Sin embargo, Wright y su equipo arguyen que el meteorito fue tratado con demasiado cuidado para que se contaminase.

Si la proporción de carbono 12 y carbono 13 no corresponde a un material procedente de un cometa, y no puede deberse a un accidente en la Tierra, entonces parecería que esto es una nueva prueba de que el material que contiene carbono tiene que proceder de Marte.

¿Y por qué no detectaron las sondas *Viking* este material?

Wright sostiene que no tenían la posibilidad de hacerlo. Las sondas recogieron material de la capa superior de la superficie de Marte. En cambio un cometa que hubiese chocado con Marte habría levantado el suelo marciano y enviado a la Tierra un material situado a mayor profundidad, donde los compuestos que contenían carbono podían haberse concentrado. Es un problema fascinante pero no resultará fácil de resolver.

UN POCO MÁS BRILLANTE

Hay algo más allá de Saturno que ha intrigado a los astrónomos desde hace una docena de años. Es una especie de cuerpo celeste, pero no se sabía exactamente de qué clase.

Ahora puede manifestarse al fin su verdadera identidad.

La historia empezó el 1 de noviembre de 1977, cuando el astrónomo americano Charles Kowal descubrió lo que parecía ser un asteroide que se movía despacio, muy despacio. Cuanto más lentamente se mueve un asteroide, más lejos está del Sol, y éste lo estaba más que cualquier otro de los que se habían observado jamás, pues giraba alrededor del Sol más allá de la órbita de Saturno.

Los únicos cuerpos pequeños que se habían visto a la altura de Saturno o más allá eran los satélites que giraban alrededor de los planetas lejanos: Saturno, Urano, Neptuno y Plutón. Lo que había descubierto Kowal era un pequeño objeto que se movía a lo largo de una órbita independiente alrededor del Sol, a veces aproximadamente a la distancia de la órbita de Saturno, y alejándose después hasta la distancia de la órbita de Urano. Pero su propia órbita está inclinada de manera que el objeto se halla mucho más allá o por encima de estos dos planetas al seguir aquélla. No hay por tanto peligro de colisión.

Kowal lo buscó en viejas fotografías de las regiones adecuadas del cielo y determinó su órbita. Giraba alrededor del Sol en un tiempo de cincuenta y un años. Su órbita lo llevaba a 1.260 millones de kilómetros del Sol, en un extremo, y hasta 2.780 millones de kilómetros en el otro. Como parece galopar interminablemente más cerca y más lejos de la órbita de Saturno a la de Urano, Kowal le llamó Quirón, el nombre del centauro (medio hombre, medio caballo) más famoso de la mitología griega.

Y surgió la cuestión de lo que debía ser. Podía ser un asteroide. Es bastante grande pues tiene 180 kilómetros de diámetro, pero se conocen asteroides de estas dimensiones. Lo único que se opone a esto es su distancia del Sol. Todos los asteroides que conocemos tienen toda o parte de sus órbitas en el espacio entre Júpiter y Marte (el «cinturón de asteroides»).

Se conocen unos cuantos pequeños asteroides con órbitas dentro de la de Marte, pero Quirón sería el único conocido con una órbita enteramente más allá de la de Júpiter.

Cuanto más lejos está un asteroide, más difícil resulta de ver, desde luego. Tal vez el sistema solar exterior, más allá de Júpiter, está lleno de asteroides, a tal distancia que no podemos verlos desde la Tierra. Tal vez podemos ver a Quirón, aunque a duras penas, porque es desacostumbradamente grande para un asteroide. Tal vez el día que tengamos telescopios en órbita en el espacio exterior descubriremos muchos más cuerpos parecidos a Quirón.

Por otra parte Quirón puede ser un cometa. Se sabe que existen cometas en la región externa del sistema solar. Desde luego Quirón es muy grande para ser un cometa; unas dos mil veces más pesado que el Halley, aunque tal vez algunos cometas tienen este tamaño.

Pero Quirón no daba señales de ser un cometa. Hay una diferencia entre un asteroide y un cometa. El asteroide está compuesto totalmente o en su mayor parte por materiales rocosos o metálicos que no se evaporan ni siquiera al rojo. En cambio el cometa está formado principalmente por materiales congelados que se evaporan cuando se calientan, formando una nube de polvo a su alrededor. Por esto los cometas, cuando están cerca del Sol, se vuelven borrosos y presentan una larga cola.

Quirón no daba estas señales, pero esto se podía deber a que está tan lejos del Sol que recibe calor insuficiente para que su hielo se evapore. Pero Quirón estaba cerca de su máxima distancia del Sol cuando fue descubierto en 1977, y se ha ido acercando desde aquel entonces. Alcanzará su mínima distancia en 1996.

Esto significa que desde que fue descubierto se ha ido acercando cada vez más al Sol, y también calentándose cada vez más.

Naturalmente, al acercarse más al Sol recibe y refleja más luz, y por esto se hace más brillante. Los astrónomos tienen una buena idea de cómo debe brillar un asteroide al

acercarse al Sol, y ya en noviembre de 1987 pareció que Quirón era un poco más brillante de lo que hubiese debido ser.

Ahora, Karen J. Meeche, de la Universidad de Hawai, y Michael J. S. Belton, del Observatorio de Kitt Peak, de Tucson, informan que aquel mayor brillo sólo puede ser el resultado de la luz del Sol reflejada de una atmósfera de vapores que se forma alrededor de Quirón. Y esto parece querer decir que a fin de cuentas Quirón no es un asteroide sino un cometa gigante.

Tal vez no es extraordinariamente grande para ser un cometa. Tal vez muchos de los cometas que se cree que existen más allá de la órbita de Plutón son igual de grandes. Después de todo, los que vemos de cerca son los que entran en nuestra vecindad, muy cerca del Sol, una y otra vez. Siempre que se acercan al Sol se evapora una buena parte de su sustancia, de manera que después son mucho más pequeños de lo que eran.

Si un cuerpo tan grande como Quirón viese su órbita alterada por la atracción planetaria y tuviese que caer en nuestra sección del sistema solar, perdería tanto vapor que se formaría a su alrededor una nube gigantesca más grande que el Sol, y una cola que tendría cientos de millones de kilómetros y que se extendería sobre la mitad del cielo. Algunos de estos cometas gigantes se observaron en el siglo pasado, pero en el nuestro, por desgracia, únicamente hemos visto unos ejemplares insignificantes. Sólo podemos fijarnos en Quirón y pensar en las vistas que nos estamos perdiendo.

LA CONTAMINACIÓN DEL ESPACIO

En algunas charlas que he dado estos últimos años he recalcado que el espacio tiene un volumen tan grande que no hemos de temer que lo contaminemos con nuestras actividades. ¡Qué equivocado estaba! Han transcurrido diez mil años de civilización antes de que empezásemos a contaminar todos los mares, el suelo y la atmósfera de la Tierra de una manera significativa; pero sólo hemos necesitado treinta años para contaminar el espacio alrededor de la Tierra.

En estos treinta años, hemos colocado miles de objetos en el espacio. Si estos objetos permaneciesen inmóviles con respecto a la superficie de la Tierra no causarían ningún daño desde el lugar donde los hubiéramos colocado; habría espacio suficiente pues el volumen de éste es realmente enorme. Pero si estuviesen inmóviles caerían al suelo. Permanecen en el espacio porque todos se mueven alrededor de la Tierra a velocidades de hasta ocho kilómetros por segundo. A estas velocidades cualquier objeto en el espacio es como una bala, y en la mayoría de los casos mucho más peligrosa que las que disparamos con nuestras armas.

Actualmente hay unos trescientos satélites en funcionamiento alrededor de la Tierra, aunque son muchos más los que han dejado de funcionar y siguen girando en el espacio.

Pero no son sólo satélites lo que hay en el espacio. Los satélites fueron lanzados por cohetes, y como consecuencia de ello todavía hay fragmentos de cohetes en el espacio.

Algunos satélites han estallado o han chocado entre sí, y cada vez que esto ocurre se rompen en pequeños fragmentos, que continúan girando en órbita alrededor de la Tierra.

Hay seis mil trozos de objetos de fabricación humana lo suficientemente grandes como para ser observados mediante el radar, y así se está haciendo. Pero hay muchos más pedazos que son demasiado pequeños para seguirles la pista. De acuerdo con algunos cálculos, hay sesenta mil fragmentos de material de aproximadamente un par de centímetros. También puede haber innumerables millones de partículas de pintura.

La idea de que los ingenieros se alarmen por una mota de pintura puede hacernos sonreír, pero incluso un objeto tan ínfimo puede resultar peligroso cuando viaja a una velocidad de varios kilómetros por segundo. En junio de 1983, una partícula de pintura

de poco más de un par de décimas de milímetro –demasiado pequeña para ser observada a simple vista– chocó contra una ventanilla del trasbordador espacial *Challenger*. La colisión arrancó un trocito de cristal y dejó un pequeño cráter de un par de milímetros en la ventanilla. Tal vez esto parezca una cosa sin importancia pero debilitó la ventanilla y hubo que sustituirla –lo que supuso un gasto de 50.000 dólares– antes de que el trasbordador pudiese volar de nuevo. Fue por tanto una mota de pintura muy cara, y si hubiese chocado algo un poco más pesado se habría podido producir un desastre en el *Challenger*, dos años y medio antes de la explosión que acabó con la vida de siete tripulantes.

Y la situación está empeorando. Estados Unidos, la Unión Soviética y otras naciones siguen lanzando objetos al espacio.

Continúan las explosiones y colisiones y aumenta la cantidad de fragmentos, de manera que algunos calculan que el número de estos fragmentos en el espacio se cuadruplicará cada diez años.

Esto significa que es muy posible que hacia el año 2000 cualquier satélite que funcione tenga una probabilidad al año entre doscientas de ser alcanzado por un trozo de material de aproximadamente un par de centímetros. Si hay cuatrocientos satélites funcionando en el espacio en aquella época, podemos calcular que por término medio cada año serán alcanzados dos de ellos. El daño puede ser muy grave; si el fragmento choca con una parte vital del satélite, éste puede dejar de funcionar definitivamente.

Para sobrevivir, los satélites tendrán que ser más resistentes; esto significa que habrá que hacerlos más pesados y que por consiguiente su lanzamiento será más caro. ¿Y qué decir de los trajes espaciales? Tampoco ellos son totalmente seguros. Es posible que dentro de cien años sea muy peligroso intentar un «paseo espacial» por las cercanías de la Tierra. En definitiva, puede ocurrir que el espacio esté tan lleno de desperdicios que el vuelo a través del anillo permanente de basura espacial se convierta en una hazaña cada vez más peligrosa.

¿Qué cabe hacer? Podríamos tratar de reducir el número de satélites que lanzamos o adoptar medidas para evitar el mayor número posible de explosiones y colisiones, y desde luego rechazar cualquier proyecto que incluya la destrucción deliberada de satélites.

Pero esto sólo retrasaría el aumento de peligro. No lo eliminaría. Lo ideal sería encontrar una manera de limpiar periódicamente el espacio pasando por él una aspiradora, por así decirlo. Desgraciadamente no parece que exista una manera de establecer un sistema de limpieza eficaz y práctico.

¿ADÓNDE VAMOS DESDE AQUÍ?

Después de haber vuelto al buen camino con el transbordador espacial de 1988, ¿adonde vamos desde aquí? Es importante tener bien proyectado nuestro futuro en el espacio porque la empresa es costosa y no podemos fracasar.

Evidentemente, un vuelo tripulado a Marte y sus satélites es un objetivo ideal. Si lo realizamos, exploramos un mundo que no está demasiado lejos y que en ciertos aspectos es parecido a la Tierra. Es más pequeño y más frío pero tiene una tenue atmósfera, un día de veinticuatro horas, y casquetes polares. Y también guarda misterios: lechos secos de ríos que tiempo atrás pudieron estar llenos de agua, volcanes que antaño pudieron escupir lava, un gran cañón que puede revelar una corteza en la antigüedad activa.

Sin embargo, la empresa de enviar seres humanos a Marte y hacerlos volver con vida es tan enorme y parece casi tan imposible que ni Estados Unidos ni la Unión Soviética pueden emprenderla sin un tremendo esfuerzo y un enorme temor por la seguridad de

los astronautas. La cosa quizás sería menos peligrosa si Estados Unidos y la Unión Soviética aunasen sus recursos y su experiencia e hicieran del proyecto de ir a Marte un esfuerzo internacional y no nacional. Esto también podría fomentar la cooperación mundial en otros campos, y como los problemas con que nos enfrentamos ahora en la Tierra son de naturaleza internacional y requieren soluciones a escala mundial, esto podría ser un resultado del difícil proyecto todavía más valioso que la propia exploración de Marte.

Pero un viaje a Marte partiendo de la Tierra seria un espectáculo que no se repetiría fácilmente; sería como las excursiones a la Luna de hace quince años, que por muy espectaculares que fuesen parece que no condujeron a nada más profundo y enjundioso.

Para nuestras aventuras espaciales es absolutamente necesario construir una base fuera de la Tierra, una base con menos gravedad y sin una atmósfera engorrosa.

El principio lógico sería una estación espacial más grande y más completa que la que han instalado los rusos en el espacio: una estación que estuviese continuamente habitada por equipos que trabajasen por turnos y adonde fueran transportadas las piezas para construir las nuevas naves del espacio.

Las naves enteras no pueden ser lanzadas desde la Tierra sin la ayuda de grandes cohetes, pero las piezas podrían ser elevadas de manera mucho más barata y segura. Una vez construidas, las naves tendrían que vencer una fuerza de gravedad menor que la de la lejana Tierra y recibirían el impulso inicial de la velocidad de la estación en órbita. Necesitarían menos combustible y podrían transportar una carga útil mucho mayor.

Con una estación espacial como base sería mucho más fácil alcanzar la Luna e instalar en ella una base permanente.

La Luna podría ser entonces como una enorme mina. Pedazos adecuados de su superficie podrían ser lanzados al espacio por medio de «conductores de masa», que empleasen fuerzas electromagnéticas para la propulsión. Esto sería relativamente fácil en la Luna, donde la gravedad en la superficie es sólo un sexto de la que tiene la Tierra. El mineral lunar podría ser fundido en el espacio y obtener de él todos los metales estructurales, así como hormigón, vidrio y tierra.

Con materiales de la Luna podríamos construir estructuras en el espacio: centrales que empleasen la energía solar y la enviasen a la Tierra; fábricas automatizadas que aprovechasen las propiedades especiales del espacio y contribuyesen a eliminar la contaminación industrial de la propia Tierra; colonias que podrían ser tan grandes como para albergar a mil seres humanos en órbita alrededor de la Tierra, en condiciones que imitasen muy bien el medio ambiente al que estamos acostumbrados.

Podría llevarnos la mayor parte del siglo XXI construir y poner en funcionamiento la estación espacial entre la Tierra y la Luna. Pero cuando lo hubiéramos logrado tendríamos al fin una base firme para las operaciones espaciales, muy superior a la misma Tierra.

Los habitantes de las colonias se acostumbrarían al espacio como nunca podrá hacerlo la gente de la Tierra. Se acostumbraría a vivir dentro de un mundo artificial. Se acostumbraría a los cambios de la atracción de la gravedad al moverse en sus pequeños mundos. Darían por supuesta la necesidad de reciclar el aire, el agua y la comida que consumiesen. Cuando un colono entre en una nave espacial se moverá en un mundo más pequeño que aquel al que está acostumbrado, pero sus propiedades le resultarán familiares. Lo que resultaría sumamente extraño para una persona de la Tierra, será el dulce hogar para un colono.

Entonces los colonizadores, mucho mejor preparados psicológicamente para la vida en una nave espacial, estarán también mejor equipados para realizar largos viajes a través del espacio. Serán los fenicios, los vikingos, los polinesios del futuro, y entrarán

en el siglo XXII por un mar de espacio mucho más vasto que el de agua surcado por sus predecesores.

Desde estas colonias como base podrán hacerse repetidos viajes a Marte y a sus satélites. Pero esto no será más que el comienzo pues podrán hacerse otros viajes a los asteroides, a los satélites de Júpiter, y en definitiva a todo el sistema solar.

Y más allá están los objetivos del siglo XXIII: las estrellas más cercanas.

¿EL FIN?

En definitiva, todo debe tener un fin: ustedes y yo, toda la humanidad, la Tierra misma. Pero ¿cuál será este fin? Los científicos especulan acerca de estas cosas, y hay una posibilidad que es el último argumento que he podido encontrar.

Supongamos que no desencadenamos una guerra nuclear.

Supongamos que resolvemos todos los problemas con que nos enfrentamos hoy. Supongamos que aprendemos a mejorar el cuerpo y la mente humanos, haciéndonos más fuertes, más sanos y más sabios. ¿Podremos entonces seguir adelante para siempre? ¿Podremos nosotros y nuestros descendientes seguir evolucionando y mejorar nuestro querido planeta, y aspirar a un perpetuo jardín del Edén?

No, no podremos. Nuestro problema es el Sol. A diferencia de la Tierra, no es una estructura tranquila y apacible. La gravedad ha comprimido la Tierra todo lo que era posible, y si sólo dependiese de si misma continuaría siendo indefinidamente como es. Pero el Sol es enorme y su fuerza de gravedad es capaz de reducirlo a un mínimo. No colapsa, pero es sólo porque constantemente genera calor en su centro. Este calor impide que se derrumbe por la fuerza de su propia gravedad.

Este calor es generado porque cientos de millones de toneladas de átomos de hidrógeno del Sol (que constituyen el 75 por ciento de su masa) se funden cada segundo dando átomos de helio más complejos. Esta reacción de fusión genera calor y da al Sol un gran núcleo de helio que crece continuamente. El Sol contiene tanto hidrógeno que incluso después de casi 5.000 millones de años de fusión aún le queda una gran cantidad.

Pero todo tiene su fin. Dentro de 5.000 o 6.000 millones de años, el hidrógeno del Sol se estará agotando y su núcleo de helio se habrá hecho tremendamente grande y caliente. Alcanzará un punto en que los átomos de helio empezarán a fundirse para dar átomos todavía más complejos. Habrá una súbita ola de calor adicional y el Sol empezará a expandirse. Aumentará mucho de tamaño y las capas exteriores se harán más frías. La superficie pasará de una incandescencia blanca a una simple incandescencia roja, *y* el Sol se convertirá en una «gigante roja».

Aunque las capas exteriores del Sol se enfriarán, su radio crecerá tanto que el calor total que llegue a la Tierra aumentará continuamente al expandirse aquél. Mucho antes de que el Sol alcance sus máximas dimensiones, la Tierra habrá sido quemada y esterilizada y no quedará rastro de vida en ella.

¿Qué dimensiones tendrá el Sol cuando alcance su máximo tamaño?

Según los cálculos más recientes, alcanzará un diámetro de poco más de 320 millones de kilómetros. Esto significa que el Sol llenará toda la órbita de la Tierra y un poco más. En definitiva, la Tierra girará alrededor del centro del Sol a unos 11 millones de kilómetros por debajo de su superficie.

Desde luego esto no es tan malo como parece. Las capas exteriores de una estrella gigante roja son tan tenues que son poco más que un vacío. Aunque las temperaturas de estas capas exteriores son todavía tan elevadas que alcanzan los 822 °C (1.500 F), la pequeña cantidad de materia presente no producirá bastante calor total para derretir la

Tierra. Podemos imaginarnos la Tierra como una bola indestructible de piedra y metal, girando en medio de las más exteriores ráfagas de gas del Sol. Aunque entonces ya no habrá vida en la Tierra, puede consolarnos un poco saber que el mundo que fue nuestro hogar podría continuar existiendo todavía. Sin embargo, la Tierra sólo seguirá existiendo si permaneciese en su órbita actual y en aquella capa más exterior de gas; pero no será así.

Las capas de gas que rodearán la Tierra aún serán lo suficientemente espesas para retrasar ligeramente su movimiento y harán que descienda muy gradualmente en espiral hacia el centro del Sol. Lo malo es que al hundirse hacia el centro tropezará con un gas más espeso. El retraso del movimiento se hará más pronunciado y el descenso hacia el centro será cada vez más rápido. Al hundirse la Tierra hacia el centro, aumentará la temperatura a su alrededor y habrá más materia solar para transferirle calor. En pocos siglos, la Tierra se irá calentando hasta fundirse, evaporarse... y desaparecer.

El Sol puede seguir generando calor durante más de 10.000 millones de años, pero su fin estará cerca en cuanto se convierta en una estrella gigante. El combustible que tiene decrecerá en unos pocos millones de años hasta el punto en que no bastará el poco calor que produzca para impedir que el Sol se derrumbe. La gravedad se saldrá al fin con la suya y el Sol se contraerá hasta ser más pequeño que la Tierra. Las capas superficiales se calentarán de nuevo y lo convertirán en una «enana blanca». Alrededor de este pequeño resto girarán todavía los planetas exteriores, pero Mercurio, Venus, la Luna y la Tierra habrán desaparecido para siempre.

No obstante, recuerden que esto no ocurrirá hasta dentro de miles de millones de años, por lo que la humanidad y sus descendientes tendrán mucho tiempo para prepararse. Seguramente habrán aprendido a practicar los viajes interestelares.

Nos resultará fácil construir en el espacio grandes ciudades que nos lleven en largos, larguísimos viajes, a planetas que giren alrededor de otras estrellas más jóvenes. Pensaremos en la Tierra y en el Sol con pesadumbre, pero podremos sentirnos orgullosos si los frágiles seres humanos sobrevivimos a la Tierra misma y al Sol que la calienta.

¿ESTAMOS SOLOS?

Uno de los juegos predilectos de la ciencia es tratar de calcular las probabilidades que existen de vida en el universo.

¿Es la Tierra el único planeta donde hay vida o hay allá fuera innumerables miles de millones de planetas con seres vivos?

Los científicos se han debatido entre el pesimismo y el optimismo; pero recientemente ha sonado una nueva nota optimista.

En el primer tercio del siglo XX se creía que los planetas eran consecuencia de dos estrellas que habían estado a punto de chocar. Este es un fenómeno tan improbable que podría no haber más de dos sistemas planetarios en toda la galaxia: el nuestro y el de la estrella que nos hubiese evitado por poco.

En este caso, el pesimismo tenía que ser grande. La vida sería algo tan raro que podríamos estar realmente solos en el universo.

Pero desde 1944, nuevos y mucho mejores estudios del fenómeno de formación de los planetas hacen que parezca que toda estrella debería tenerlos de algún tipo. Entonces cundió el optimismo y fue fácil suponer que la vida podía ser algo común. ¿Hasta que punto? Esto dependería de lo rigurosas que fuesen las condiciones para que se formase vida.

Considerando nuestro propio sistema solar, al principio se tuvo la impresión de que Venus podía ser más caliente que la Tierra. Sin embargo, gracias a su gruesa capa de nubes, probablemente no era mucho más caliente. En cuanto a Marte, se creía que era más frío que la Tierra, pero tal vez no mucho más. Existía por tanto posibilidad de vida en cualquier planeta que estuviese situado alrededor de una estrella parecida al Sol, a una distancia intermedia entre la de Venus y la de Marte.

Esto significaba una amplia «ecósfera» y aumentaba la probabilidad de vida en otras partes. Y creció el optimismo.

Pero con el advenimiento de la era de los cohetes y de las sondas, tuvimos ocasión de estudiar de cerca Venus y Marte, y nos encontramos con que Venus era demasiado caliente y Marte demasiado frío para la vida.

Con esto aumentó de pronto el pesimismo. Astrónomos del Goddard Space Flight Center de la NASA, en Greenbelt, Maryland, hicieron algunos cálculos fundados en nuestro nuevo conocimiento de los planetas vecinos. Y llegaron a la conclusión de que si la Tierra estuviese sólo un 5 por ciento más cerca del Sol (140 millones de kilómetros en vez de 148 millones), se produciría un gran efecto invernadero y se volvería demasiado caliente para ser habitable. Por otra parte, si estuviésemos sólo un 1 por ciento más lejos del Sol (150 millones de kilómetros en vez de 148 millones), los glaciares nos invadirían. Y si la órbita de la Tierra fuese un poco más elíptica de lo que es, de modo que estuviese demasiado cerca del Sol en algunos puntos y demasiado lejos en otros, iría constantemente de un extremo a otro.

Esto estrechaba mucho la ecósfera. Está claro que ha sido un golpe de suerte extraordinario que la Tierra tenga una órbita casi circular que la mantiene todo el tiempo dentro de aquella ecósfera terriblemente estrecha. La probabilidad de que esto ocurriese en el caso de otras estrellas parecidas al Sol es tan pequeña que de nuevo tenemos que pensar que podría haber muy pocos planetas que fuesen realmente habitables. E incluso los que lo fuesen podrían no albergar vida.

Una vez más podríamos estar solos en la galaxia.

Más cerca del Sol, las cosas siguen teniendo mal aspecto.

A fin de cuentas Venus es un planeta casi gemelo de la Tierra en lo tocante a sus dimensiones, pero mucho más caliente de lo que pensábamos: lo suficiente para fundir el plomo. Esto parece bastante concluyente.

Pero si miramos más lejos del Sol, ¿hasta qué punto podemos confiar en el caso de Marte? Desde luego Marte es más frío que la Antártida, pero es un planeta pequeño con sólo una décima parte de la masa de la Tierra. Esto significa que en el mejor de los casos la atracción de su gravedad puede retener una atmósfera muy tenue y también menos calor interno.

Sin embargo no hay motivo para pensar que haya alguna regla que haga que un planeta a la distancia que se halla Marte del Sol tenga que ser tan pequeño. Igual podría haber sido más grande. Supongamos por tanto que Marte se hubiese formado a su distancia actual del Sol, pero que hubiese sido tan grande como la Tierra. Un planeta tan grande como la Tierra, pero más alejado del Sol, tendría una atmósfera aún más densa que la nuestra, y también mares. La atmósfera podría ser sobre todo de dióxido de carbono, y esto, junto con vapor de agua, crearía un efecto invernadero que haría que el clima de Marte fuese considerablemente más suave de lo que es ahora. También podría contribuir a ello su calor interno y la acción volcánica.

Pero el hecho de ser lo suficientemente cálido para la vida no sería garantía de que ésta se formase, y aunque lo fuese, la vida podría ser completamente distinta de la que existe en la Tierra. Téngase en cuenta que si la vida marciana sustituyese por oxígeno el

dióxido de carbono de la atmósfera (como hizo en la Tierra), se perdería el efecto invernadero y Marte se enfriaría.

Pero astrónomos del Ames Research Center de la NASA, en California, han combatido el pesimismo de sus colegas de Goddard al sugerir que la ecósfera podría expandirse de nuevo, no hasta la primitiva distancia entre Venus y Marte pero al menos en la mitad más fría, desde la Tierra hasta Marte.

Aproximadamente el 10 por ciento de las estrellas de nuestra galaxia son bastante parecidas al Sol. Con una ecósfera más ancha, podría ocurrir que la mitad de ellos tuviesen un planeta en aquella zona habitable. Esto significaría que al menos 5.000 millones de planetas podrían ser habitables. Pero en cuántos de ellos puede haberse formado vida, y una vida inteligente... Esto ya es harina de otro costal.

V. FRONTERAS DEL UNIVERSO

LA SUPERNOVA VECINA

La astronomía tiene poco de ciencia experimental. Los astrónomos sólo pueden observar el cielo y tomar lo que éste les muestra. Pero a veces no quiere mostrarles lo que ellos quieren ver.

Por ejemplo, entre los años 1006 y 1604 aparecieron cinco supernovas en el cielo. Cinco estrellas de nuestra galaxia estallaron en un infierno inconcebible, de modo que cada una de ellas brilló durante unas pocas semanas con la luz de mil millones de estrellas como nuestro sol, y después se apagaron poco a poco en unos meses.

Estas estrellas, generalmente demasiado opacas para verlas a simple vista y que se encendían de pronto con el brillo de Júpiter o de Venus, parecían estrellas nuevas. En 1572, una de ellas fue estudiada por primera vez por un astrónomo de gran categoría. Era Tycho Brae, quien escribió un libro cuyo titulo en latín, abreviado, es *De Nova Stella* («Sobre la nueva estrella»). Desde entonces, todas las estrellas que estallaban fueron llamadas novas. Pero algunas explosiones son pequeñas. Las realmente grandes, como la de 1572, ahora reciben el nombre de supernovas.

Sin embargo, Tycho Brae no tenía telescopio pues aún no se había inventado. El telescopio no se empleó para observar el cielo hasta 1609, cinco años después de que apareciese la última de las cinco supernovas.

Desde 1609 hemos tenido telescopios cada vez más grandes, y también espectroscopios, fotografía, radiotelescopios y ordenadores: todos los chismes de una astronomía de alta tecnología. Lo que no hemos tenido es una supernova. Desde 1604 no ha estallado ninguna en nuestra galaxia.

Esto no quiere decir que no las haya habido, sino tan sólo que no ha habido ninguna en nuestra galaxia. La supernova de 1604 estaba a unos 35.000 años luz de nosotros, según calcularon los científicos; pero la más próxima, hasta hace unos pocos años, apareció en 1886 en la galaxia de Andrómeda, que está a una distancia de 2.500 millones de años luz. o sea sesenta y cinco veces más lejos que la de 1604. Por otra parte, los astrónomos no sabían que la explosión de 1886 fuese una supernova, y no la estudiaron tan cuidadosamente como habrían podido hacerlo.

Sólo en los años treinta se dieron cuenta de lo que eran las supernovas y empezaron a observar el cielo para buscarlas.

Desde entonces se han detectado unas cuatrocientas, pero todas ellas estaban en galaxias remotas, a millones de años luz, todavía mucho más lejos que la supernova de Andrómeda.

¿Tiene esto importancia? Sí. Los astrónomos están tratando de averiguar lo que pasa en el centro de las estrellas. Si pudiesen observar de cerca una supernova (no demasiado cerca, desde luego; digamos desde una distancia de sólo unos pocos miles de años luz), empleando los precisos instrumentos actuales, los detalles de la explosión podrían darnos una idea mucho mejor de lo que ocurre en el centro. Y también nos permitiría comprender mejor nuestro propio Sol.

Esto explica la frustración de los astrónomos, pero ¿qué decir de la gente en general? ¿Por qué tendría que preocuparse por las supernovas?

Bueno, en los orígenes del universo, en los tiempos del big bang, las únicas sustancias que se formaron fueron los elementos químicos hidrógeno y helio. Los restantes elementos, sin excepción, se han formado en el centro de las estrellas y generalmente permanecen para siempre allí. Al estallar, las supernovas desparraman los

elementos más pesados y, más tarde, cuando se forman las estrellas, éstas incorporan dichos elementos.

La Tierra está compuesta casi enteramente de estos elementos pesados. El noventa por ciento de la masa del cuerpo humano consiste en elementos distintos del hidrógeno o del helio. Esto significa:

Primero, que casi todos los átomos que hay en nosotros y en la Tierra se formaron en una estrella que se convirtió en supernova.

Segundo, que nuestro sistema solar se formó al contraerse una nube de polvo y de gas. Pero ¿qué hizo que se contrajese si había estado tranquilamente allí durante miles de millones de años? La mejor suposición es que una supernova estalló cerca de la nube, la comprimió y provocó la contracción.

Tercero, que las supernovas producen grandes cantidades de rayos cósmicos, y la Tierra es constantemente bombardeada con rayos cósmicos originados en diversas supernovas repartidas por el cielo. Estos rayos cósmicos producen mutaciones y aceleran el proceso de la evolución. Sin ellos, aún seríamos criaturas unicelulares..., si es que llegábamos a tanto.

Por consiguiente, las supernovas son responsables de nuestra existencia, de tres maneras diferentes.

Pero en 1987 nos alcanzó un destello de luz de una supernova que estalló en la Nube Grande de Magallanes. No está en nuestra propia galaxia, pero sí en la galaxia exterior más próxima, a sólo 155.000 años luz de distancia, cuatro veces y media más lejos de la supernova de 1604, o a un catorceavo de la supernova de Andrómeda.

Es la primera ocasión que han tenido los astrónomos de estudiar una explosión de este tipo bastante próxima, y la están aprovechando. Lo que encuentren será sorprendente y útil, pues ampliará nuestros conocimientos.

EN BUSCA DE PLANETAS

Desde hace casi medio siglo, los astrónomos están convencidos de que los planetas deben ser comunes y que acompañan a la mayoría o a todas las estrellas. Esto sería especialmente cierto en las estrellas solitarias, como nuestro Sol, que no tienen otras cerca. Los astrónomos tienen por fin pruebas concluyentes de que esta creencia puede ser correcta.

La idea que hoy se tiene de la manera en que se forman las estrellas implica una gran nube de polvo que se condensa lentamente, girando cada vez más deprisa a medida que lo hace. La parte central se convierte en una estrella, pero el material más ligero que la rodea da lugar a los planetas. En realidad la condensación no puede dejar de producir planetas cerca de las estrellas; nuestro propio sistema solar es un ejemplo de ello. Lo malo es que es el único ejemplo que conocemos.

Si hay planetas girando alrededor de otras estrellas, no podemos «verlos», en el sentido corriente de la palabra. Los planetas no brillan con luz propia, sino solamente con la luz reflejada de la estrella próxima alrededor de la cual están girando. Por consiguiente son mucho más oscuros que una estrella, y la poca luz que pueden reflejar se pierde en el resplandor de la estrella cercana.

Pero no necesitamos ver realmente un planeta para saber que está allí.

Una estrella sin planetas (o sin estrellas compañeras) tiende a desplazarse por el cielo en un curso lento y perfectamente recto. Pero si la acompaña un planeta, éste y la estrella giran alrededor de un centro común de gravedad. Como el planeta es pequeño y tiene menos gravedad, hace la mayor parte del giro; pero la estrella también gira, con un pequeño balanceo.

Cuando esto ocurre, la estrella sigue en el cielo un camino ligeramente ondulado. (Visto desde lejos, nuestro Sol mostraría un curso oscilante debido sobre todo a la atracción del gran planeta Júpiter.)

El balanceo es más manifiesto si la estrella es pequeña y el planeta grande. Desde los años cuarenta hasta los sesenta, se dieron a conocer estas oscilaciones en algunas estrellas, principalmente una pequeña llamada Estrella de Barnard, que está a una distancia de sólo 5,9 años luz.

Pero las informaciones no pudieron confirmarse. Otros astrónomos no pudieron medir la presunta oscilación, y finalmente se decidió que las informaciones eran fruto de algún error en el manejo del telescopio. Y decayó la esperanza. Pero, en el curso de los dos últimos decenios se han perfeccionado los instrumentos, y a mediados de 1988, dos astrónomos, David W. Latham, de Harvard, y Bruce Campbell, de la Universidad de Victoria, en British Columbia, informaron que habían observado estrellas que oscilaban.

El descubrimiento de Latham fue más o menos accidental.

Estaba estudiando una estrella parecida al Sol, denominada HD 114762, situada a unos 90 años luz de nosotros, simplemente para probar su telescopio, y descubrió un balanceo.

Para no hacer otro anuncio prematuro, estuvo observando la estrella siete años, y durante todo este tiempo (a juzgar por el balanceo) un planeta giró treinta veces a su alrededor, con un período de revolución de ochenta y cuatro días.

Por su parte, Campbell estudió la manera en que las estrellas se acercaban o alejaban de nosotros. Si tenía un planeta, la estrella debía balancearse al acercarse, retroceder y acercarse de nuevo. De dieciocho estrellas estudiadas por Campbell en un período de siete años –todas ellas a unos 100 años luz de nosotros–, nueve mostraron dicho movimiento, pero si esto era resultado de la existencia de planetas, tales planetas debían de estar tan lejos de las estrellas a las que circundaban que tardaban más de siete años en completar una revolución. Como no se observó un balanceo completo, los resultados no fueron tan seguros como los de Latham.

Para que el balanceo sea observable, los planetas tienen que ser grandes, probablemente mucho más grandes que Júpiter. Esto hace que no podamos estar seguros de si se trata de verdaderos planetas o estrellas compañeras muy oscuras. Pero aunque fuesen planetas, los planetas tan grandes como Júpiter tienen que estar formados principalmente por hidrógeno caliente y serían completamente inadecuados para una vida parecida a la nuestra.

En todo caso, estos resultados parecen demostrar que al menos la mitad de las estrellas, y tal vez más, tienen alguna especie de compañeras que no son con seguridad estrellas.

Pueden ser planetas del tipo Júpiter, pero parece probable que si existe un planeta de este tipo hay otros que también giran alrededor de la estrella y no pueden ser detectados, simplemente porque son demasiado pequeños y ligeros para producir un balanceo observable de la estrella.

En otras palabras: con estos informes los astrónomos tienen que estar un poco más dispuestos a creer que hay numerosos planetas parecidos a la Tierra en nuestra galaxia (y también en otras). Esto es importante porque cuantos más planetas parecidos a la Tierra existan, mayor es la posibilidad de que al menos algunos de ellos presenten condiciones favorables para la vida y de que la vida se desarrolle en ellos.

Gracias a estas noticias, los astrónomos que suponen, como yo, que la vida puede ser un fenómeno común en el universo, ahora pueden sentirse un poco más seguros del terreno que pisan. Y si la vida es común, es posible que ocasionalmente se desarrollen

formas de vida inteligentes y se produzcan civilizaciones tecnológicas, de modo que no estemos solos.

MUCHO MÁS ALLÁ

En la ciencia moderna nos enfrentamos a proyectos que, como las catedrales medievales, serán iniciados por quienes saben que no podrán presenciar su terminación.

Por ejemplo, hasta ahora hemos enviado sondas a los planetas exteriores. El *Voyager 2* ha fotografiado Urano y Neptuno, los planetas más lejanos conocidos. El proyecto ha requerido más de una década, pero incluso los astrónomos de mediana edad pueden esperar vivir diez años más y ver el final.

Después de dejar Neptuno, el *Voyager 2* continuará su marcha indefinidamente, más allá de los planetas conocidos y a través del vacío del espacio interestelar. Desde luego, allí ya no servirá de nada y no será más que un viajero anónimo,

Pero los astrónomos están ahora especulando sobre la posibilidad de lanzar una sonda que nos sea útil incluso cuando esté mucho más lejos del último planeta exterior.

Despegaría de la Tierra a una velocidad relativamente pequeña y contendría unas doce toneladas y media de xenón congelado. Éste se calentará hasta que sus átomos se rompan en fragmentos cargados eléctricamente (iones). Los iones serán expelidos con fuerza, poco a poco, de manera que la sonda acelerará lentamente su velocidad durante un período de diez años.

Al final de la aceleración de diez años, el xenón se habrá agotado completamente y la sonda se moverá a una velocidad de 360.000 kilómetros por hora, o sea 100 kilómetros por segundo. Entonces estará a unos 9.600 millones de kilómetros de la Tierra, mucho más allá del punto más lejano alcanzado por el pequeño y remoto planeta Plutón.

En aquel punto serán arrojados los depósitos de carburante, y la sonda propiamente dicha, de unas cinco toneladas y media de peso, continuará alejándose a una velocidad que se reducirá lentamente debido a la débil atracción del lejano Sol.

Continuará alejándose durante otros cuarenta años, hasta que esté casi a 160.000 millones de kilómetros del Sol. Una distancia aproximadamente mil veces mayor que la que nos separa del Sol. La distancia de la Tierra al Sol (148 millones de kilómetros) se llama «unidad astronómica» (UA). La distancia alcanzada por la sonda después de cincuenta años será de mil unidades astronómicas, y por esto el proyecto ha recibido el nombre de TAU *(thousand astronomical units).*

La sonda *TAU* llevará un gran telescopio a bordo, y su función será la de enviarnos fotografías de las estrellas tomadas cada vez a mayor distancia de nosotros, hasta que las últimas las haga a 1.000 UA. Después de esto, agotada la energía de la sonda, ésta continuará su camino, indefinida e inútilmente, como han hecho sondas anteriores.

¿De qué servirán estas lejanas fotografías de las estrellas?

Cuando las estrellas se observan desde lugares diferentes, las más próximas parecen cambiar de posición en comparación con las más lejanas; esta variación se llama «paralaje».

Cuanto mayor es la variación, más cerca está la estrella.

Midiendo aquélla podemos calcular la distancia a que se halla ésta.

Por desgracia, incluso las estrellas más próximas están tan lejos que el cambio de posición es extraordinariamente pequeño. Podemos aumentarlo observando la estrella desde dos lugares muy lejanos entre sí. Pero la mayor distancia de que podemos valernos en la Tierra es la que hay entre su posición en el espacio en un momento dado y su posición seis meses más tarde, cuando esté en el lado opuesto de su órbita. Los extremos de la órbita distan 2 UA el uno del otro.

Esta diferencia de posición nos permite medir la distancia de las estrellas hasta valores de unos 100 años luz. (Un año luz es igual a 63.225 UA). Estas distancias sirven de base para el cálculo de las de cuerpos todavía más lejanos, por métodos un poco menos seguros.

Las fotografías de estrellas que nos enviará la sonda *TAU* las mostrará a distancias de nosotros quinientas veces mayores que la máxima anchura de la órbita de la Tierra. Comparando las imágenes lejanas con las que obtenemos desde la Tierra, veremos variaciones mucho más grandes del paralaje y podremos medir exactamente las distancias de cuerpos situados hasta 1,5 millones de años luz. Habrá mejorado enormemente nuestro conocimiento de las dimensiones del universo.

No obstante, los astrónomos tendrán que esperar cincuenta años desde el lanzamiento de la sonda para conseguir los últimos y mejores resultados. Y lo que es más, no es probable que el lanzamiento pueda hacerse antes del año 2000 porque debemos construir un motor de energía nuclear capaz de calentar y expeler con seguridad el gas xenón. Además tenemos que diseñar un sistema de comunicación por láser con un enlace de 1.000 UA, Resulta bastante agradable sin embargo que los astrónomos piensen en proyectos tan «lejanos».

Y para mostrarlo en la debida perspectiva, digamos que 1.000 UA equivale sólo a una doscientas setentava parte de la distancia a la estrella más próxima. Piensen en lo muchísimo más que tendremos que hacer para ser capaces de llegar a las estrellas.

LAS EXPLOSIONES DELATORAS

Si en el universo existe la llamada antimateria, los científicos pronto dispondrán de una manera de detectarla.

Hubo un tiempo en que los científicos creyeron que tenía que haber antimateria. Por cada fragmento de materia creada, tenía que haber sido creado un fragmento equivalente de antimateria. Serían dos polos opuestos. Si la materia tiene una carga eléctrica positiva, la antimateria la tiene negativa, y viceversa. Si la materia tiene un campo magnético que apunta al norte, la antimateria tiene uno que apunta al sur, y viceversa.

Si se encuentran cantidades iguales de materia y de antimateria, se anulan, aniquilándose recíprocamente en una explosión cien veces más potente que la producida por una bomba de hidrógeno con material de fusión de la misma masa.

Los científicos pueden producir pequeños fragmentos de antimateria en laboratorio, pero en el mundo natural sólo tenemos materia a nuestro alrededor. La Luna también es materia; si no lo fuese, nuestros astronautas habrían estallado al tocarla. Marte es materia; si no lo fuese, las sondas *Viking* habrían estallado. En realidad, estamos completamente seguros de que todo el sistema solar está formado por materia.

¿Qué decir de otras estrellas o de otras galaxias? Tal vez existen antiestrellas y antigalaxias hechas de antimateria y tal vez hay cantidades iguales de materia y antimateria en el universo, aunque separadas en diferentes lugares.

Pero mantenerlas separadas sería difícil. Hay nubes de polvo y de gas, aquí y allá, y forzosamente tienen que chocar y actuar recíprocamente en ocasiones. Si una nube de materia chocase con otra de antimateria se producirían estallidos de rayos gamma energéticos de un tipo particular, y nunca se han observado estos estallidos.

De hecho, los científicos han llegado de mala gana a la conclusión de que el universo está casi todo constituido por materia y han elaborado teorías para explicar que en la creación original se produjo un ligero exceso de materia sobre antimateria: a razón de mil millones a uno. El universo que conocemos se formó con este ligero exceso.

Pero ¿estamos seguros? ¿No podría haber antigalaxias en alguna parte, entre los cientos de miles de millones de galaxias que existen, o al menos una antiestrella ocasional? ¿Cómo podríamos saberlo? ¿Hay algo de las estrellas y galaxias lejanas que llega hasta nosotros, que podemos estudiar y que sea susceptible de darnos una clave?

Hasta nosotros llegan desde todas partes partículas de rayos cósmicos. Son casi enteramente materia, con sólo una minúscula fracción de antimateria; pero esto nos sirve de poco. Las partículas de rayos cósmicos llevan una carga eléctrica y por consiguiente siguen trayectorias curvas a través del espacio. Aunque detectásemos un estallido de partículas de antimateria en los rayos cósmicos, no podríamos decir de dónde venían. Tenemos que estudiar partículas no cargadas que viajen en línea recta, de manera que podamos identificar sus orígenes.

Hay tres tipos de partículas sin carga que llegan hasta nosotros desde el espacio exterior. En primer lugar están los «fotones», que llevan la energía de la luz ordinaria, así como ondas de radio, rayos X, rayos gamma, etc. Llegan en enormes cantidades desde todas las estrellas y galaxias, pero son inútiles. No existen «antifotones». Tanto la materia como la antimateria emiten fotones. Esto significa que nunca podremos identificar una antiestrella o una antigalaxia estudiando simplemente la clase de luz que nos envía.

Ln segundo tipo de partícula sin carga es el «gravitón».

Los gravitones llegan también hasta nosotros en grandes cantidades desde todas las estrellas y galaxias, pero llevan tan poca energía que hasta ahora hemos sido incapaces de detectarlos. Y aunque pudiésemos detectar los gravitones, probablemente no existen «antigravitones», por lo que tampoco podrían ayudarnos a detectar antiestrellas.

Queda un tercer tipo de partícula sin carga: el «neutrino».

Los neutrinos son minúsculas partículas subatómicas sin masa y sin carga; casi no interactúan con la materia. Pero también existe el antineutrino. Las estrellas y galaxias formadas por materia emiten cantidades de neutrinos; las antiestrellas y las antigalaxias emiten cantidades de antineutrinos. Por desgracia los neutrinos y los antineutrinos son tan difíciles de detectar que los que llegan hasta nosotros desde las estrellas y las galaxias suelen pasar de largo.

Pero de vez en cuando estalla una supernova, que en su violencia emite una enorme cantidad de neutrinos si esta compuesta de materia, o una enorme cantidad de antineutrinos si está compuesta de antimateria. La supernova que se vio estallar en la Gran Nube de Magallanes, en 1987, envió una enorme cantidad de billones de billones de billones de partículas, y se detectaron diecinueve de ellas en la Tierra. Ésta fue la primera vez que fueron detectadas tales partículas de más allá de nuestro sistema solar. Eran neutrinos, por lo que la supernova de Magallanes parece estar compuesta de materia.

Sin embargo se están elaborando planes para desarrollar detectores de neutrinos más poderosos y más sensibles. Llegará un día en que será corriente recibir y analizar las explosiones de las supernovas. (Puede haber diez supernovas al año sólo en nuestra galaxia, y un número igual en otras galaxias próximas.)

Puede ser –y probablemente lo será– que todas las explosiones sean de neutrinos. Pero si una vez, una sola vez, se detecta una explosión de antineutrinos, sabremos que hemos encontrado una antiestrella (existente quizás en una antigalaxia), y esto puede ayudarnos a reconsiderar nuestras nociones acerca de la naturaleza del universo y posiblemente sobre su nacimiento y muerte.

LA SORPRESA DEL NEUTRÓN

Uno de los grandes alicientes de la ciencia es que a veces incluso fenómenos bien conocidos nos dan sorpresas. Por ejemplo, hace casi sesenta años que los científicos conocen una partícula subatómica llamada neutrón, que ha sido estudiada a fondo. Parecía que ya no había nada nuevo a descubrir acerca del neutrón, pero ya lo creo que había. Recientemente los científicos han tenido que revisar sus concepciones acerca del tiempo que puede existir aislado el neutrón.

El neutrón es una de las dos clases de partículas presentes en los núcleos atómicos. La otra partícula es el protón. Cuando los neutrones están asociados con protones en los núcleos, son estables. Pueden durar indefinidamente, mientras dure el universo.

En cambio, si el neutrón existe aislado, fuera del núcleo, no es estable. Más pronto o más tarde se desintegra dando un protón, un electrón y un antineutrino. No es posible saber cuánto puede durar un neutrón aislado sin desintegrarse. Puede ser un segundo, o puede ser un día; es cuestión de suerte.

Sin embargo, si se considera un gran número de neutrones es posible determinar el tiempo que pasará antes de que se desintegren la mitad de ellos. Es lo que se llama «vida media del neutrón». Hacia 1950 se calculó que la vida media del neutrón era de 12,5 minutos. Esto significa que si se empieza con un billón de neutrones, la mitad de ellos se desintegrará en 12,5 minutos; la mitad de los que sobrevivan lo harán en otros 12,5 minutos, y así sucesivamente hasta que desaparezcan todos.

Hay otros muchos tipos de partículas subatómicas inestables, pero el neutrón es excepcional. Otras partículas inestables tienen una vida de sólo una millonésima de segundo o menos antes de desintegrarse. Únicamente el neutrón dura un tiempo tan largo como 12,5 minutos.

Para los científicos, esto es un inconveniente. Si una partícula se desintegra en una pequeña fracción de segundo, apenas tiene tiempo de moverse. Por muy deprisa que vaya, los científicos pueden determinar sus movimientos y el instante de su desintegración. Pero el neutrón se mueve generalmente con mucha rapidez al salir de un núcleo, y viaja muchos kilómetros antes de desintegrarse. Los científicos sólo pueden observarlo durante una pequeña porción de su trayecto y deben calcular la vida media del neutrón basándose en las pocas rupturas que pueden captar.

Además, el neutrón carece de carga eléctrica, y los científicos sólo pueden seguir a las partículas móviles que la tengan.

La manera en que pueden saber que un neutrón existe es observando cómo expulsa electrones cargados eléctricamente de los átomos que atraviesa. Entonces puede determinarse cómo se rompen los neutrones observando la reducción que producen en el número de electrones. Pero los electrones salen a velocidades diferentes, y los que se mueven muy despacio o muy deprisa pueden ser pasados por alto.

Recientemente los científicos han inventado métodos para frenar los neutrones y atraparlos dentro de un campo magnético. Entonces se les puede observar cómodamente, por decirlo así, y seguir más exactamente las desintegraciones.

Y aquí es donde surge la sorpresa. Parece que la vida media de los neutrones no es de 12,5 minutos sino sólo de unos 10,1 minutos. El neutrón se desintegra un 19 por ciento más deprisa de lo que se creía.

¿Tiene esto alguna importancia? ¿Sirve de algo además de cambiar una cifra en los libros de texto? Pues sí, en realidad tiene importancia porque nos dice algo acerca del origen del universo.

Actualmente se cree que el universo empezó con el big bang. Empezó con una pequeña región que contenía toda la masa del universo a una temperatura enormemente elevada.

Dicha región se expandió en una tremenda explosión y descendió la temperatura. En unos segundos la temperatura se redujo hasta el punto en que se formaron los protones y los neutrones, y en pocos minutos más bajó hasta el punto en que pudieron combinarse los protones y los neutrones para formar los núcleos atómicos.

Por sí solo, un protón es un núcleo de hidrógeno; pero si se combinan dos protones y dos neutrones forman un núcleo de helio. Después del big bang sólo se formaron hidrógeno y helio. Más tarde se formaron átomos más complicados en el centro de las estrellas, pero sólo en pequeñas cantidades.

Todavía hoy en día, el 99 por ciento del universo está constituido por hidrógeno y helio.

Desde luego los neutrones empezaron a romperse después de haberse formado, de manera que la cantidad de helio que se formó dependió del tiempo que habían permanecido intactos los neutrones. Suponiendo una vida media del neutrón de 12,5 minutos, los astrónomos calcularon el helio que debería existir ahora en el universo. Entonces estudiaron el contenido en helio de las cálidas y resplandecientes nubes de materia en el espacio. Partiendo de éstos y otros datos, pareció que la cantidad de helio realmente presente en el universo era menos que la que se había calculado a base de la teoría del big bang.

Esto representaba un fallo importante de esta teoría.

Pero si tenemos en cuenta la nueva vida media más corta del neutrón, la cantidad de helio que se habría formado, de acuerdo con la teoría, coincide con la cantidad de helio observada, y esto refuerza la teoría del big bang.

LAS NUBES DE POLVO INVISIBLES

No todo lo que hay en el universo puede verse; por tanto, los astrónomos se congratulan de cualquier cosa que haga visible lo invisible. En febrero de 1987, una supernova, a 150.000 años luz de nosotros, iluminó todo el espacio situado entre ella y nuestros instrumentos, y nos ofreció alguna información interesante.

Para ser visible, tanto para nuestros ojos como para los instrumentos especiales, un objeto tiene que emitir radiación.

Por ejemplo las estrellas la emiten, al igual que los objetos lejanos constituidos por estrellas, como las galaxias y los quásares. Incluso las nubes de polvo pueden ser visibles si contienen estrellas. La luz de éstas es reflejada y difundida por el polvo circundante, brindándonos una información útil.

Pero hay nubes de polvo en el espacio que no están cerca de estrellas y que por tanto son frías y oscuras. En ocasiones vemos «nebulosas oscuras» próximas, porque tapan las estrellas que hay detrás de ellas. Entonces aparecen como formas oscuras dentro de las cuales no se ven estrellas, pero que están perfiladas en todos lados por un fuerte resplandor. Otras nubes oscuras de nuestra galaxia pueden ser demasiado tenues para ser vistas de esta manera o estar demasiado lejos para poder ser captadas con facilidad. Estas oscuras nubes de polvo y gas tienen un gran interés para los astrónomos.

En primer lugar, son la materia prima a partir de la que se forman las nuevas estrellas. De vez en cuando estas nubes se condensan y calientan hasta que arden con fuego nuclear y se convierten en una estrella joven. Hace casi 5.000 millones de años, una nube de ésas, al condensarse, formó nuestro sistema solar. Y el proceso ha continuado desde entonces.

Actualmente observamos que lo mismo ocurre en algunas nubes próximas, tales como la Nebulosa de Orión, que ahora brilla intensamente debido a las jóvenes estrellas que ya se han formado en ella.

En segundo lugar, en algunas nubes oscuras, donde todavía no se están formando estrellas, los átomos se unen entre ellos formando docenas de combinaciones diferentes. Cada combinación diferente emite de ondas de radio únicas gracias a las cuales podemos identificarla. Algunas pueden darnos una idea de lo complejas que pueden llegar a ser las moléculas formadas por los átomos, y de esta manera nos ayudan a reflexionar sobre cómo pudo iniciarse la vida en la Tierra. Para llevar a cabo estas observaciones, necesitamos nubes que estén lo bastante cerca y que sean lo suficientemente densas.

Pero tiene que haber muchas nubes negras en nuestra galaxia que simplemente están demasiado lejos o son demasiado tenues (o ambas cosas) para ser observadas y estudiadas, a menos que podamos, de algún modo, iluminarlas con un reflector muy brillante. Este reflector apareció, al menos en una determinada dirección, cuando estalló la supernova de la Gran Nube de Magallanes.

La luz, al venir hacia nosotros a través de un espacio de 150.000 años luz (1,4 trillones de kilómetros), atravesó finas nubes de materia que estaban dentro de la Gran Nube de Magallanes; después otras nubes que estaban entre aquélla y nuestra galaxia, y por último otras nubes de dentro de ésta. Al pasar la luz de la supernova a través de cada una de estas nubes, parte de ella era absorbida, y los astrónomos pudieron deducir muchísimas cosas acerca de la naturaleza de la absorción.

Calcularon por ejemplo que al viajar la luz de la supernova hacia nosotros durante años luz, pasó a través de doce nubes de la Gran Nube de Magallanes; después, veintidós nubes del espacio intergaláctico situadas entre aquélla y nuestra galaxia, y luego otras seis en esta última. En conjunto, cuarenta nubes que habían sido invisibles para nosotros hasta que estalló la supernova.

De la naturaleza de la luz absorbida, los astrónomos también pudieron deducir que la galaxia de la Vía Láctea (al menos la parte de ella por la que viajó la luz) es muy polvorienta, y que las nubes se componen tanto de gas como de polvo. La Gran Nube de Magallanes contiene menos polvo que nuestra galaxia (pero tiene sólo una décima parte del número de estrellas de nuestra galaxia, y están distribuidas a mayores distancias entre sí). El espacio intergaláctico entre nuestra galaxia y la nube no parece polvoriento en absoluto, de manera que sus nubes se componen total o parcialmente de gas.

Hasta ahora los astrónomos sólo han descubierto nubes en las diversas galaxias, sobre todo, y como es natural, en la nuestra, aunque en otras se pudieron ver zonas oscuras. Virtualmente no tienen ningún conocimiento acerca de nubes de materia entre las galaxias.

Se considera que la Gran Nube de Magallanes, por ser una galaxia pequeña más próxima a nuestra Vía Láctea que cualquier otra, ejerce una considerable atracción gravitatoria sobre nosotros, y que por supuesto nosotros la ejercemos sobre ella.

Esto sería así sobre todo si la nube hubiese estado más cerca de nosotros en el pasado y hubiese rozado el borde de nuestra galaxia. En tal caso, la atracción gravitatoria recíproca, aunque no es lo bastante fuerte para alterar mucho las estrellas individuales o las partículas de polvo, habría podido arrancar grandes cantidades de átomos individuales y dar lugar a una serie de nubes de gas entre las dos galaxias.

Partes de estas nubes de gas intergalácticas son sorprendentemente cálidas, y algunas de ellas contienen también el elemento químico litio, que es generalmente raro. Ambos factores reclaman una explicación, y a los astrónomos, como a todos nosotros, les encanta el misterio.

LA ONDA MÁS DÉBIL

¿Es posible inventar un instrumento que pueda detectar ondas gravitatorias?

De acuerdo con las teorías de Albert Einstein, deberían existir las ondas de gravedad. Pero si existen, son tan débiles que los científicos nunca han podido detectarlas, aunque siguen intentándolo y tal vez tengan éxito.

¿Cómo sabemos que están ahí si no podemos detectarlas.

Einstein formuló la teoría general de la relatividad en 1916 y demostró que la presencia de materia deformaba el espacio, dando como resultado la fuerza gravitatoria. Cada vez que se redistribuye materia en el espacio, cambia la naturaleza de la deformación y esto produce un trastorno, una «onda gravitatoria» que se propaga en todas direcciones hacia fuera a la velocidad de la luz.

Ahora los astrónomos están seguros de que la teoría general de la relatividad es correcta, de manera que las ondas gravitatorias tienen que existir. La Tierra tiene que emitirlas, por ejemplo, al girar en torno al Sol. De esta manera la Tierra pierde energía, y por consiguiente se acerca gradualmente en espiral al Sol.

En este caso, ¿por qué no detectamos estas ondas gravitatorias? La respuesta es que la gravedad es con mucho la fuerza más débil que conocemos. La fuerza electromagnética que mantiene juntos los átomos es mil billones de billones de billones más intensa que la gravedad. La única razón de que nos demos tanta cuenta de la existencia de la gravitación es que la Tierra es un cuerpo enorme y la atracción gravitatoria de sus innumerables partículas, al sumarse, representa algo observable.

Las ondas gravitatorias son por tanto las más débiles que existen, y, simplemente, no producen ningún efecto que podamos detectar. La cantidad de energía que pierde la Tierra en ondas gravitatorias es tan pequeña que, en sus miles de millones de años de existencia, la Tierra sólo se ha acercado una distancia insignificante al Sol.

Naturalmente, redistribuciones más enérgicas de masa producirán ondas gravitatorias de mayor intensidad. Una redistribución realmente masiva, como el colapso de una estrella para dar un agujero negro o una colisión de dos estrellas, podría producir ondas de gravedad lo bastante intensas como para ser detectadas. Si es así, un instrumento detector podría darnos información sobre las catástrofes realmente grandes que pueden tener lugar, en distintos puntos del universo; una información que no podríamos obtener de otra manera.

En los años sesenta, un científico llamado Joseph Weber, de la Universidad de Maryland, trató de detectar ondas gravitatorias. Empleó grandes cilindros de aluminio. Si una onda gravitatoria pasaba por encima de él, un cilindro se comprimiría y dilataría una distancia de aproximadamente una diez millonésima parte de la anchura de un átomo. Pero las ondas gravitatorias más intensas podrían producir una compresión lo bastante grande como para ser detectada.

Para asegurarse de que lo que detectase fuera una onda de gravedad Weber empleó dos cilindros, uno en Maryland y Otro en Illinois. Una onda gravitatoria sería tan larga y superficial que abarcaría toda la Tierra y afectaría simultáneamente a ambos cilindros. Weber creyó que detectaba las ondas, y durante un tiempo reinó la esperanza. Pero otros no pudieron repetir el experimento y se tuvo la impresión de que aunque la obra de Weber era importante, sus instrumentos no eran lo suficientemente sensibles como para cumplir su objetivo.

Los científicos se niegan a darse por vencidos. El deseo de tener otra prueba de la veracidad de la teoría general de la relatividad, y de ser capaces de detectar murmullos de grandes acontecimientos en la lejanía les ha llevado a trabajar en nuevos «telescopios gravitatorios».

Un proyecto prometedor de un «telescopio» de esta clase está siendo estudiado en la Universidad de Glasgow, Escocia, por un equipo dirigido por Jim Hough. El instrumento consistiría en dos tubos vacíos (tubos de los que se ha extraído todo el aire, creando un vacío), colocados en ángulo recto. En cada tubo, un haz de luz láser sería reflejado de atrás hacia adelante, aproximadamente un millar de veces. Si los tubos permanecen completamente intactos, la onda de luz no se alterará en absoluto.

Pero si una onda gravitatoria pasara sobre los tubos, uno de éstos sería comprimido un poco más que el otro, y esto alteraría los rayos láser; esto se podría detectar, permitiendo no sólo descubrir una onda gravitatoria sino también calcular su energía y obtener alguna información sobre lo que pueda haberla producido.

Precisamente ahora los científicos de Glasgow están trabajando con tubos de diez metros de largo cada uno, sólo para comprobar el funcionamiento de los rayos láser. La cosa parece prometedora, pero para tener ocasión de detectar ondas gravitatorias necesitarán tubos de un kilómetro de largo aproximadamente. Semejante instrumento costaría unos 25 millones de dólares.

Más aún, para hacerlo como es debido tendría que haber cuatro de estos instrumentos distribuidos por todo el mundo, de manera que los cuatro se viesen afectados casi simultáneamente, para estar seguros de ese modo de que se trataba de una onda gravitatoria y no de alguna otra cosa lo que les afectase. Habría pequeñas diferencias en el tiempo de detección, porque la onda, moviéndose a la velocidad de la luz, tardaría más o menos un veintitresavo de segundo en pasar de un extremo a otro de la Tierra. Trabajando con diferencias de tiempo tan pequeñas, podría ser posible averiguar la dirección de la que procediesen las ondas.

Los investigadores están tratando ahora de recaudar el dinero necesario para tan gran empresa.

LAS PRUEBAS DE LA RELATIVIDAD

La teoría de la relatividad de Einstein se basa en cierta suposición, y durante ochenta y cuatro años los científicos la han estado probando. En todas las ocasiones ha superado la prueba. Pero siguen los «tests», porque aunque la suposición fuese sólo ligeramente errónea esto podría abrir el camino a una nueva teoría que aún sería más amplia, más útil y más correcta que la de la relatividad. A principios de 1989, la teoría fue sometida a una prueba más, y la suposición de Einstein también la superó.

La suposición es ésta: La velocidad de la luz es siempre la misma, con independencia de la velocidad de la fuente que la emite.

Ésta no es la manera en que parecen comportarse los objetos móviles ordinarios. Si se arroja una pelota desde un tren en marcha, en la misma dirección que sigue el tren, la pelota se mueve más deprisa en el aire. Si se arroja en dirección contraria a la del tren, se mueve más despacio. La velocidad del tren se suma a la de la pelota si ambos se mueven en la misma dirección. La velocidad de aquél se resta a la de ésta, si ambos se mueven en direcciones opuestas.

Einstein creyó que esto no era aplicable a la luz ni a ninguna cosa que se moviese a la velocidad de la luz. En tal caso, la velocidad no se sumaría ni restaría, sino que seguiría siendo siempre la misma.

Si esto fuese cierto significaría que cuanto más deprisa se moviese un objeto, menos se vería afectado por la velocidad del punto de origen, hasta no serlo en absoluto al alcanzar la velocidad de la luz. Einstein formuló una ecuación para demostrar cómo se sumaba o se restaba la velocidad de la fuente de la de un objeto, dependiendo de cómo y a qué velocidad se moviesen los dos en relación uno con otro.

Dedujo también que al aumentar la velocidad, los objetos se acortarían en la dirección del desplazamiento; que aumentaría su masa; que experimentarían más lentamente el tiempo; que cualquier cosa que tuviese masa (por ejemplo nosotros y nuestras naves espaciales) nunca podría ir a una velocidad mayor que la de la luz.

Todo esto parece contrario al «sentido común» y es difícil de creer, porque estamos rodeados de objetos que se mueven a velocidades mucho menores que la de la luz, de modo que estamos acostumbrados a velocidades que se suman *y* restan siguiendo las reglas de la aritmética. Sin embargo, cuando los científicos empezaron a estudiar objetos que se movían con gran rapidez, como las veloces partículas subatómicas, se encontraron con que las conclusiones de Einstein eran correctas en todos sus términos. Las máquinas rompedoras de átomos no funcionarían como lo hacen si dichas conclusiones no fuesen correctas; ni estallarían las bombas atómicas.

Naturalmente, si las conclusiones son correctas, cabe suponer que también es correcta la suposición original. No se obtienen conclusiones correctas a partir de suposiciones falsas. Pero tal vez, la suposición y las conclusiones que se obtienen a partir de ella sólo son casi correctas. Como ya he dicho, esto nos colocaría sobre la pista de algo todavía mejor que la relatividad. Por eso los científicos continúan poniendo a prueba dicha suposición.

Pues bien, en febrero de 1987 llegó hasta nosotros la luz de una estrella que estalló en forma de supernova, a unos 160.000 años luz de la Tierra. También llegaron hasta nosotros «neutrinos» (partículas subatómicas sin masa que viajan a la velocidad de la luz) procedentes de la supernova. La suposición de Einstein se aplica también a los neutrinos. Éstos viajan a la misma velocidad con independencia de la velocidad de lo que los produce.

Cada fragmento de una estrella que estalla emite neutrinos en todas direcciones. Algunos neutrinos son irradiados en nuestra dirección desde cada fragmento de la explosión, y podemos detectarlos; no muchos porque los neutrinos son terriblemente difíciles de detectar, pero sí algunos.

Los fragmentos de la estrella que estalla se desplazan a fracciones considerables de la velocidad de la luz. Algunos se alejan rápidamente de nosotros. Otros se acercan hacia nosotros con la misma rapidez, y otros se mueven de través, en todas las direcciones intermedias, también con la misma rapidez. Si las velocidades sólo se sumasen y restasen, los neutrinos de fragmentos de la explosión que se alejasen de nosotros viajarían más lentamente en nuestra dirección y llegarían mucho más tarde que los neutrinos de fragmentos que se acercasen a nosotros. Por otra parte, si las velocidades de los neutrinos no fuesen afectadas por la de su punto de origen, todos los neutrinos deberían alcanzarnos exactamente al mismo tiempo, con independencia del fragmento de la explosión del que procediesen.

Los astrónomos detectaron diecinueve neutrinos, todos los cuales llegaron a los instrumentos detectores en un intervalo de 12 segundos: ni uno más, ni uno menos. Los neutrinos habían estado viajando durante 160.000 años (partículas que viajen a la velocidad de la luz tardan un año en recorrer una distancia de un año luz). Cada año tiene 31,55 millones de segundos. Esto significa que los neutrinos habían viajado durante 5 billones de segundos, y sin embargo la diferencia entre ellos fue sólo de 12 segundos.

Kenneth Brecher y Joao L. Yun, de la Universidad de Boston, emplearon los datos obtenidos de las observaciones sobre los neutrinos. A su parecer, estos datos indicaban que la suposición de Einstein era correcta en más de 1 parte en 100.000 millones. Esto significa que la velocidad de la luz (300.000 kilómetros por segundo) podría variar como máximo un cuarto de centímetro por segundo, más o menos.

Ésta es la prueba más rigurosa a la que ha sido sometida la teoría de Einstein en los ochenta y cuatro años transcurridos desde que formuló su suposición, de modo que la teoría de la relatividad parece haberse confirmado más que nunca.

NEUTRINOS DESDE LEJOS

La nueva supernova en la Gran Nube de Magallanes es la que ha estado más cerca en casi cuatrocientos años. Ahora parece que ha merecido grandes titulares sobre el tema de los neutrinos.

Los neutrinos son partículas minúsculas, sin masa ni carga eléctrica, que viajan a la velocidad de la luz y pasan a través de la materia como si ésta no existiese. Los neutrinos atravesarán la Tierra de un lado a otro sin que nada les detenga y ni siquiera reduzca su velocidad; bueno, casi nada. Un neutrino puede ser detenido entre muchos billones.

Los físicos han inventado aparatos capaces de detener y detectar ocasionalmente al neutrino. De esta manera, los neutrinos, predichos mediante cálculos teóricos en 1931, fueron finalmente detectados en 1956, en reactores de fisión, que producen grandes cantidades de ellos.

En los últimos años, los físicos han instalado «detectores de neutrinos» en la Tierra, a gran profundidad, para registrar neutrinos procedentes del Sol. Los detectores tienen que ser profundamente enterrados para que no penetren otras partículas hasta ellos y den lugar a confusiones. Se detectaron neutrinos procedentes del Sol, pero en menor número de lo esperado (lo cual sigue siendo un misterio).

Pero nunca habían sido detectados neutrinos de una fuente que no fuese la Tierra o el Sol. Los neutrinos procedentes de otras estrellas se ven tan mermados por la distancia que los que llegan hasta nosotros son demasiado pocos para tener ocasión de detectarlos; al menos así ha sido... hasta hace poco.

Por lo visto la nueva supernova, al principio mismo de su explosión, nos envió una gran lluvia de neutrinos. Gracias a la proximidad de la supernova llegaron hasta nosotros neutrinos suficientes para ser detectados por un aparato enterrado en el Montblanc, en los Alpes. Este aparato es manejado por físicos italianos y soviéticos.

El descubrimiento no me pilló por sorpresa. En 1961 había sostenido correspondencia con un joven físico llamado Hong Yee Chiu, que había estado en Cornell y después había ingresado en el Institute for Advanced Study, de Princeton. Estaba interesado en las supernovas e intentaba calcular qué reacciones nucleares deberían producirse en el centro de una estrella gigante al hacerse cada vez más vieja y más caliente. Hong Yee Chiu creía que el centro de la estrella alcanzaría una temperatura de 6.000 millones de grados C (cuatrocientas veces más alta que la del centro de nuestro Sol).

Pensó que a esta enorme temperatura, las interacciones entre las partículas que producen neutrinos deberían ser muy importantes. Se formarían enormes cantidades de neutrinos (un trillón de veces más que los que produce el Sol). Así como otras partículas quedarían más o menos atrapadas en el centro de la estrella y viajarían muy lentamente hacia las regiones exteriores, los neutrinos, no afectados por la materia, abandonarían el centro a la velocidad de la luz, llevándose energía.

Al perder estos neutrinos y su energía, el centro de la estrella se enfriaría con catastrófica rapidez. Ya no estaría lo suficientemente caliente para soportar el peso de las capas superiores y la estrella colapsaría, produciendo una explosión de supernova y dejando por fin atrás una estrella de neutrones o un agujero negro (aunque estos términos aún no eran de uso común en 1961).

«Por consiguiente –dijo Hong Yee Chiu en uno de sus escritos–, el establecimiento de una estación monitora de neutrinos en laboratorios terrestres o espaciales podría ayudarnos a predecir futuras supernovas.»

No creo que las predicciones de Hong Yee Chiu recibiesen mucha atención hace un cuarto de siglo, pero a mí me impresionaron muchísimo. Expuse sus conclusiones en un artículo titulado «Hot Stuff» en julio de 1962. Ahora que su teoría puede haber sido corroborada, me gustaría verle para obtener su reconocimiento.

Supongo que mis razones son en parte egoístas. Hong Yee Chiu había estado trabajando sobre la física de las partículas en Cornell y después se pasó al campo de la astrofísica y se interesó en las supernovas. La razón de este cambio la expuso en una carta que me dirigió; «Pasé del campo de la física de las partículas elementales al de la astrofísica, precisamente después de graduarme. Su artículo (de octubre de 1959) despertó mi interés en el campo de las supernovas.»

Mi artículo se titulaba «The Height of Up». No tenía nada que ver con las supernovas, pero en él preguntaba qué altura máxima podía alcanzar una temperatura en nuestro universo actual. Propuse una respuesta, de una manera tosca, pero Hong Yee Chiu, al leer el artículo, pensó que debía intentarlo por su parte (y con su mayor experiencia). Pensaba que las temperaturas más altas se daban en el centro de las estrellas en particular de las estrellas gigantes, y más en particular de las estrellas gigantes que se habían calentado hasta el punto de explosión. De esta manera se encontró trabajando en las supernovas.

Esto me llena de satisfacción. Aunque educado para ser científico, elegí la profesión de escritor. Por tanto, no es probable que haga ningún descubrimiento científico, pero estoy muy satisfecho cuando mis especulaciones inspiran a otros a conseguirlos.

EL RELOJ ENANO BLANCO

¿Qué edad tiene el universo? Esta pregunta obsesiona a los astrónomos, y ahora se les ha ofrecido una respuesta fundada en un nuevo tipo de «reloj».

Durante sesenta años se ha buscado la clave de la edad del universo en la velocidad a que se expande. En cuanto se conozca esta velocidad, los astrónomos podrán calcular el tiempo que se ha necesitado para que se expandiese el universo desde un pequeño punto hasta sus dimensiones actuales.

Desgraciadamente, la velocidad exacta de expansión es difícil de determinar, por lo que el cálculo de la edad del universo sólo puede ser muy aproximado. Se calcula por tanto que tiene de 10.000 millones a 20.000 millones de años. Muchas personas han elegido arbitrariamente los 15.000 millones de años como edad del universo, porque es el punto medio entre los dos extremos.

Otra manera es determinar la edad de las estrellas más viejas, estudiando su composición química y considerando lo que tardarían algunos átomos de larga vida en bajar a los niveles encontrados en aquellas estrellas. Este método parece demostrar que la edad del universo es de 10.000 millones de años.

Ahora se ha propuesto un tercer método para determinar aquella edad, que implica a las «enanas blancas».

Las estrellas ordinarias como nuestro Sol, acaban por agotar el combustible nuclear que origina su brillo, generalmente después de miles de millones de años. Entonces se convierten en gigantes rojas. Esto sucede cuando las estrellas se expanden y su superficie se enfría. Después, sin combustible suficiente para mantener la expansión de su estructura, la estrella se contrae dando un cuerpo con la masa de una estrella pero de un tamaño no mayor que el de la Tierra. Entonces es una enana blanca.

Algunas estrellas particularmente grandes se contraen todavía más, convirtiéndose en pequeñas estrellas de neutrones, de sólo unos trece kilómetros de diámetro, o incluso en los todavía más pequeños agujeros negros, que se cree que son estrellas contraídas invisibles, tan sumamente densas que ni la luz ni la materia pueden escapar de su campo gravitatorio. Pero generalmente la mayoría de estrellas de las dimensiones de nuestro Sol o más pequeñas se convierten en enanas blancas.

En las enanas blancas no se producen reacciones nucleares que aumenten el calor y la luz. Las enanas blancas tienen solamente la energía con la que empezaron, como resultado de su contracción. Por consiguiente, con el paso del tiempo irradian esta cantidad fija de energía y se oscurecen gradualmente.

Las estrellas blancas son tan pequeñas que incluso cuando son muy nuevas, cálidas y brillantes, la cantidad total de luz que emiten es pequeña en comparación con la de nuestro gran Sol.

Esto significa que aunque hay al menos mil millones de enanas blancas en nuestra galaxia, sólo podemos ver las que están bastante cerca de nosotros.

Aún así, esto nos da un buen número de estrellas de este tipo con las que trabajar. Algunas enanas blancas nos parecen oscuras porque lo son. En cambio otras sólo parecen oscuras porque están más lejos que la mayoría de las demás. Si medimos la distancia a varias enanas blancas, podemos tener en cuenta esto y determinar cuál sería el brillo si todas las enanas blancas estuviesen a la misma distancia de nosotros. Esto es su «luminosidad».

Cuanto más vieja es una enana blanca, menor es su luminosidad. ¿Podrían ser algunas de ellas tan viejas que hubiesen perdido toda su energía y fuesen simplemente cenizas oscuras e invisibles? Creemos que no. Las enanas blancas tienen tanta masa y se enfrían tan despacio que el tiempo que tardarían en convertirse en «enanas negras» es mucho mayor que el que se le calcula para la vida al universo. Por consiguiente, cualquier enana blanca que se haya formado debería seguir siendo luminosa en cierto grado.

Esto quiere decir que aunque las enanas blancas muy viejas deberían ser las más oscuras, todavía serían brillantes y visibles. En la Universidad de Texas, el astrónomo Donald E. Winget y sus colaboradores han calculado las luminosidades de muchas enanas blancas. Las muy luminosas son raras porque son las que se formaron muy recientemente. Las menos luminosas son más comunes porque se formaron hace más tiempo.

Sin embargo, resulta casi imposible encontrar enanas blancas por debajo de cierta luminosidad, aunque todavía deberían ser fácilmente visibles a este nivel. Según parece, las estrellas blancas más oscuras se formaron cuando el universo era muy joven. Antes de esto, las estrellas no habían vivido todavía lo bastante como para dar lugar a enanas blancas.

Calculando el tiempo que pudo transcurrir para que las estrellas blancas más oscuras se oscureciesen tanto, y añadiendo otros mil millones de años en que debieron brillar las estrellas antes de convertirse en enanas blancas, resultaría también que el universo tiene una edad de 10.000 millones de años. Vemos pues que la cifra de 10.000 millones de años puede conseguirse por tres métodos muy diferentes; la velocidad de expansión del universo, la velocidad de desintegración de los elementos radiactivos, y el grado de oscurecimiento de las enanas blancas.

Diré de paso, para los aficionados a los números, que 10.000 millones es un 1 seguido de 10 ceros, que equivale al resultado de multiplicar 10, diez veces por sí mismo. ¿No es un número muy redondo para la edad del universo?

LOS GAMMA REVELADORES

La criatura más peculiar del zoo de los astrónomos es el «agujero negro», y los astrónomos están trabajando para determinar si realmente existe. En los últimos tiempos han aparecido indicios que parecen indicar que sí.

Es posible que una estrella se contraiga de manera que sus núcleos atómicos se pongan en contacto, de modo que se convierte en una «estrella de neutrones». Cuando esto ocurre, una estrella del tamaño del Sol se contrae transformándose en una pequeña esfera de sólo trece kilómetros de diámetro y que contiene todavía toda su masa. Entonces su campo gravitatorio se vuelve monstruosamente intenso: una cucharada de café de su materia pesa un millón de toneladas. La propia luz a duras penas puede escapar de él.

Las estrellas de neutrones no fueron descubiertas hasta 1969, y los astrónomos están seguros de que existen. Las pequeñas estrellas giran con gran rapidez, en períodos que van desde una vuelta hasta casi mil vueltas por segundo, y podemos detectar las ondas de radio enviadas por cada una de ellas.

Hay unas pocas estrellas de neutrones que podemos ver realmente al enviar ondas luminosas y encenderse y apagarse rápidamente.

Sin embargo, si una estrella de neutrones es demasiado grande, su gravedad hace que los propios núcleos atómicos colapsen. Entonces la estrella se reduce virtualmente a nada, y la intensidad de su interacción gravitatoria crece sin límite. Pueden caer cosas dentro de una estrella de esta clase, pero nada puede vencer su gravedad y volver a salir; es por tanto como un agujero infinitamente profundo en el espacio. Ni siquiera puede salir luz de él; por esto es un «agujero negro».

Pero ¿existen realmente los agujeros negros? Los centros de muchas galaxias emiten radiación energética en grandes cantidades, y la explicación más fácil es suponer que hay allí enormes agujeros negros. Incluso nuestra galaxia parece tener un gran agujero negro en su centro. Sin embargo, la prueba es indirecta y no del todo convincente.

El objeto más próximo a nosotros, candidato a ser un agujero negro, es algo llamado Cisne X-1, que es una fuente de rayos X. Cerca del emplazamiento de Cisne X-1 es visible una estrella gigante con una masa aproximadamente treinta veces mayor que la de nuestro Sol. Parece moverse en el espacio como si ella y Cisne X-1 girasen una alrededor de la otra. Por la naturaleza del movimiento de la estrella se diría que Cisne X-1 tiene de cinco a ocho veces la masa del Sol. Sin embargo, nada puede verse en el lugar donde se halla. Lo único que podemos detectar son los rayos X.

Se podría suponer que Cisne X-1 es una estrella de neutrones, demasiado pequeña para ser vista, y con sus pulsaciones radio no orientadas en nuestra dirección. Pero esto no puede ser porque una estrella de neutrones no puede tener una masa mayor de tres veces y un tercio la de nuestro Sol. Si fuese mayor, su fuerza gravitatoria sería lo bastante grande como para hacer que colapsase dando lugar a un agujero negro. Por tanto Cisne X-1 tiene que ser un agujero negro.

Esto parece bastante concluyente, pero depende de lo lejos que puedan estar de nosotros aquel par de cuerpos giratorios.

Si estuviesen más cerca de lo que pensamos, la estrella gigante y la fuente de los rayos X se hallarían más cerca la una de la otra de lo que nos imaginamos. Entonces su movimiento podría ser provocado por masas más pequeñas.

Creemos que Cisne X-1 se halla a una distancia de 10.000 años luz de nosotros, pero ¿y si sólo estuviese a 3.000? En este caso, la estrella gigante tendría únicamente diez veces la masa de nuestro Sol, y Cisne X-1 podría tener sólo dos veces la masa de aquél. Podría ser una estrella de neutrones y no un agujero negro.

Los rayos X que emergen de Cisne X-1 serían de esperar si este fuese un agujero negro. La materia de su estrella compañera sería absorbida por el agujero negro, y al caer en espiral dentro de éste emitiría rayos X. Si el objeto fuese una estrella de neutrones, emitiría también rayos X. Pero una estrella de neutrones no emitiría rayos gamma.

Un satélite llamado «High Energy Astrophisics Observatory 3», que ha estado detectando rayos X procedentes de Cisne X-1, también ha detectado rayos gamma. Los rayos gamma se parecen a los rayos X pero están formados por pequeñas ondas todavía más cortas que las de éstos. Por consiguiente, los rayos gamma son los más energéticos de los dos. Los rayos gamma observados son hasta mil veces más energéticos que los rayos X que emergen de Cisne X-1.

Las estrellas de neutrones tienen campos gravitatorios lo bastante fuertes como para hacer que la materia gire en compactas órbitas que automáticamente emiten rayos X, pero los campos no pueden obligar a la materia a girar de forma tan compacta que emita rayos gamma. En cambio los agujeros negros, que tienen intensidades gravitatorias todavía más grandes, si que pueden emitirlos.

A principios de 1988, unos astrónomos del Jet Propulsion Laboratory, de Pasadena, California, informaron acerca de una nueva manera de considerar la materia. Los rayos gamma parecen venir de una pequeña región de sólo unos quinientos kilómetros de diámetro, donde debería haber gas a una temperatura de varios miles de millones de grados C. A semejante temperatura, el gas produce pares electrón-positrón que se destruyen recíprocamente y dan lugar a rayos gamma.

Las estrellas de neutrones no tienen la energía necesaria para esto, pero sí que la tienen los agujeros negros. Esta nueva información confirma, por tanto, que Cisne X-1 es un agujero negro.

LA FUERZA QUE PUEDE TRAGARSE UNA ESTRELLA

La fuerza de la gravedad es la que mantiene junto al universo. Cada fragmento de materia, por pequeño o grande que sea, ejerce una atracción gravitatoria. Cuanto más grande es el fragmento, más masa tiene y más intensa es la atracción.

Y si la masa está concentrada en un volumen más pequeño, la atracción se hace todavía más intensa. Con el fin de escapar a la atracción gravitatoria de un cuerpo grande, un cuerpo pequeño debe alejarse de aquél a una velocidad mayor que la llamada «velocidad de escape». Cuanto más intensa es la atracción gravitatoria, mayor es la velocidad necesaria para escapar.

La fuerza de atracción gravitatoria es ilimitada, pero la velocidad tiene un límite.

Nada puede moverse más deprisa que la velocidad de la luz, que es de aproximadamente 299.792 kilómetros por segundo. Si un objeto es lo bastante masivo y la masa está lo bastante concentrada, ni siquiera la luz puede propagarse con la velocidad necesaria para escapar. Por consiguiente, nada puede hacerlo.

Un objeto masivo y concentrado, del que nada puede escapar, es como un agujero infinitamente profundo en el espacio.

Cualquier cosa puede caer en él, pero nada puede escapar de él.

Como ni siquiera la luz puede hacerlo, es completamente negro, y esto explica por qué se le llama «agujero negro».

Los astrónomos creen que existen agujeros negros; pero, ¿cómo pueden detectar algo que es totalmente negro y no emite absolutamente nada de luz? Bueno, supongamos que el agujero negro está situado cerca de una cantidad de materia; supongamos por ejemplo que él y una estrella ordinaria giran uno alrededor del otro. Si la estrella está lo bastante

cerca del agujero negro, alguna parte de su materia puede ser atraída a la vecindad de aquél.

Esta materia gira alrededor del agujero negro como haría un planeta, acercándose lentamente en espiral, hasta que poco a poco cae dentro de aquél. Sabemos por experimentos realizados en la Tierra que la materia que gira de aquella manera en un campo gravitatorio emite energía. La energía emitida por la materia que gira alrededor de un agujero negro es enorme y surge en forma de un flujo de rayos X. Podemos considerar esto (si queremos ser dramáticos) como el grito de la materia moribunda.

Hay lugares en el cielo donde los astrónomos encuentran fuentes de rayos X que parecen ser invisibles. Cuando los rayos X tienen ciertas características, parece razonable suponer que corresponden a un agujero negro que está tragando materia. Afortunadamente, no hay ninguno cerca de nosotros.

Incluso el más próximo debe estar al menos a una distancia de 5.000 años luz, millones de veces más lejos de nosotros que el lejano Plutón.

Cuando un agujero negro engulle materia, se hace más grande. Naturalmente este crecimiento se produce con mucha más facilidad cuando hay mucha materia en las cercanías del agujero negro, susceptible de que éste la engulla. Los astrónomos encuentran actividad de rayos X, por ejemplo, en el centro de los cúmulos globulares, que son grupos apretados de cientos de miles de estrellas. Hay varios cientos de estos cúmulos en nuestra galaxia.

Las galaxias están constituidas por miles de millones de estrellas, a veces billones, y los grupos de estrellas, en el centro de las galaxias, son mucho más numerosos y están más apretados que en los enjambres globulares. Y ciertamente los astrónomos encuentran que los centros de muchas galaxias son «activos», produciendo flujos de rayos X y de otras radiaciones. Sospechan que allí tienen que hallarse los agujeros negros más grandes.

Hay algunas galaxias cuyos centros son particularmente activos. Son las llamadas galaxias Seyfert, por el nombre del astrónomo que primero describió una de ellas. Las galaxias Seyfert deben contener agujeros negros realmente monstruosos, con masas iguales a las de millones o incluso decenas de millones de estrellas ordinarias.

Cuanto más grande es un agujero negro, mayor es la masa que puede engullir.

Parece por tanto que un agujero negro que sea lo bastante grande se puede tragar de golpe toda una estrella. Esto puede ocurrir, por ejemplo, en los agujeros negros del centro de las galaxias Seyfert.

Dos astrónomos de la Universidad Estatal de Ohio han estado observando una galaxia Seyfert llamada NGC 5548, que se cree que tiene en su centro un agujero negro con una masa igual a la de 30 millones de estrellas. Recientemente detectaron en él un súbito estallido de radiación. Por las dimensiones y la naturaleza de la radiación, sospechan que aquello fue debido a que el agujero negro atrajo una estrella de un tamaño equivalente al de cuatro quintos del de nuestro Sol, y se la tragó entera.

¿Corre peligro nuestro Sol de acabar de esta manera? En realidad, no. El agujero negro más próximo que podría ser capaz de engullirlo está en el centro de nuestra galaxia, y se encuentra a una distancia de 30.000 años luz. Nuestro Sol y sus planetas giran alrededor de aquel centro y nunca estarán mucho más cerca de él de lo que están ahora.

Desde luego, mucho antes de que nos acercásemos lo bastante para ser engullidos por un agujero negro, los flujos de rayos X y otras radiaciones procedentes de la materia que cae continuamente dentro de él harían imposible la vida en la Tierra. Afortunadamente no es probable ni siquiera el menor acercamiento.

EL CÚMULO COMO VARA DE MEDIR

Los astrónomos pueden tener una nueva manera de medir las distancias a algunas galaxias.

Esto es muy necesario. Sin un conocimiento exacto de las distancias galácticas, no podemos saber con seguridad lo apartadas que están las galaxias y la velocidad a la que se expande el universo. Esto quiere decir que no podemos conocer con mucha precisión la edad de éste. Algunos astrónomos dicen que el universo tiene 10.000 millones de años de antigüedad, y otros dicen que tiene 20.000 millones: una diferencia sustancial. Esto hace que dudemos acerca de otras características clave del universo y sobre cuál puede ser su último destino.

La mejor manera de determinar la distancia a que se halla una galaxia de la Tierra es detectar en ella un tipo de estrella llamada cefeida variable, cuyo brillo crece y disminuye durante cierto período. Midiendo este período, podemos calcular lo luminosa que es en realidad. Cuanto más largo sea el período, mayor será la luminosidad. Cuanto más oscura aparezca la estrella, más lejos estará de nosotros; partiendo de su visible oscurecimiento, podemos calcular lo lejos que está.

Las cefeidas nos permiten calcular con mucha exactitud la distancia a las treinta galaxias más próximas. Las Nubes de Magallanes, por ejemplo, se encuentran a 150.000 años luz, y la galaxia de Andrómeda, a 2.200 millones de años luz. Pero más allá de estas treinta galaxias, las cefeidas variables son demasiado oscuras para que podamos verlas. Entre miles de millones de galaxias, treinta no son muchas.

Hay otros métodos para determinar la distancia de galaxias más lejanas, pero no son tan buenos como el de las cefeidas. Por ejemplo, hay estrellas gigantes que son mucho más brillantes que las cefeidas y pueden verse a una distancia seis veces mayor. Una estrella realmente brillante lo es aproximadamente un millón de veces más que el Sol, y por lo opaca que aparece podemos saber lo lejos que está. Pero determinar si una estrella es un millón de veces más brillante que el Sol es problemático. Además, no todas las galaxias contienen estrellas gigantes.

También podemos detectar ocasionalmente supernovas en algunas galaxias, incluso en las que están muy lejos, porque la supernova brilla con una luz que puede ser decenas de miles de millones de veces más intensa que la de nuestro Sol. Pero de nuevo tenemos que adivinar lo brillante que es en realidad la supernova, y las supernovas aparecen sólo en galaxias desperdigadas.

Por último, nos vemos limitados a calcular la distancia de una galaxia por su brillo total, porque está demasiado lejos para ver estrellas ordinarias en ella, incluso las más brillantes, y las supernovas son raras. Este sería un buen método para determinar las distancias si todas las galaxias fuesen de las mismas dimensiones, pero algunas son un millón de veces más grandes que otras. Es muy arriesgado por tanto calcular la distancia por el brillo total. Esto nos lleva a los «cúmulos globulares». Parece que en todas las galaxias, existen grupos de estrellas que están fuertemente apretadas entre sí, en una forma esférica. Tales cúmulos globulares son de varios tamaños. Los más pequeños pueden consistir en unas pocas decenas de millares de estrellas, y los más grandes en un millón.

Nuestra propia Vía Láctea contiene unos doscientos cúmulos que podernos ver, y tal vez unos cien más que están ocultos por nubes de polvo. La galaxia de Andrómeda contiene un número parecido de estos cúmulos globulares, y también se han detectado en otras galaxias próximas.

Puede ser que los cúmulos globulares sólo puedan alcanzar cierto tamaño máximo. Si fuesen mayores, tal vez las estrellas exteriores no estarían sujetadas con bastante firmeza por la atracción gravitatoria de las interiores y acabarían por separarse del

cúmulo. Si fuese así, los cúmulos globulares más brillantes tendrían siempre el mismo brillo total.

William Harris, astrónomo de la Universidad McMaster de Hamilton, Canadá, ha realizado recientemente un cuidadoso estudio de los cúmulos globulares en galaxias próximas cuya distancia conocemos. Determinó el brillo aparente de los cúmulos globulares, y partiendo de su distancia calculó lo luminosos que son realmente en comparación, por ejemplo, con nuestro Sol. Informó que los enjambres globulares más brillantes, en cualquier galaxia, brillaban aproximadamente con la misma luminosidad.

Esto quiere decir que si podemos divisar cúmulos globulares en alguna galaxia, de cuya distancia no estemos seguros y determinar el brillo del más brillante de ellos, podremos comparar esto con la luminosidad que realmente tienen y calcular la distancia.

En cierto modo, podría parecer que esto no nos aporta nada nuevo. Un cúmulo globular brillante lo es aproximadamente igual que la estrella supergigante más brillante, y empleamos ya estas estrellas superbrillantes para determinar distancias galácticas. Pero los enjambres globulares tienen la ventaja de que probablemente existen en todas las galaxias, mientras que las supergigantes sólo se encuentran en algunas de ellas. En segundo lugar, si Harris está en lo cierto, se puede confiar más en el brillo de los cúmulos globulares más brillantes que en el de la más brillante supergigante individual.

Por consiguiente, el método del cúmulo globular puede darnos distancias seguras para las 6.000 galaxias más próximas. Esto representará un progreso importante en la situación presente, pero aún quedan miles de millones de otras galaxias.

Debemos continuar buscando nuevas varas de medir.

LA GRAVEDAD GASTA BROMAS

Algo que a principios de 1987 parecía muy apasionante, ahora parece que fue una ilusión óptica. Se descubrieron algunos arcos luminosos semicirculares que giraban alrededor de galaxias lejanas. Se consideraron los objetos más largos que jamás se habían visto y esto intrigó a los astrónomos. La solución del misterio implica a la fuerza de gravedad.

En 1916, Albert Einstein expuso en su teoría general de la relatividad que los rayos de luz se curvaban ligeramente cuando pasaban junto a algún objeto de gran masa. Supongamos por tanto que rayos de luz de algún cuerpo lejano pasaran por todos los lados de un objeto de gran masa en su viaje hacia nosotros. Los rayos se curvarían hacia dentro en todos los lados y podrían llegar como un foco a nuestros ojos. En tal caso, el objeto lejano parecería ampliado, como si hubiese pasado por la lente de una lupa. Por esta razón, esta acción de la gravedad se denomina *«lente gravitatoria»*. Einstein predijo la existencia de estas lentes.

Sin embargo, la luz se curva tan poco, incluso al pasar junto a objetos muy masivos, que para que sus rayos se enfoquen tienen que viajar una larga distancia. Esto significa que el objeto que produce el enfoque tiene que estar muy lejos y que el que envía los rayos de luz tiene que estar mucho más lejos todavía.

En 1916, y casi medio siglo después, los astrónomos no conocían ningún objeto que estuviese tan lejos que hiciese posible una lente gravitatoria. Por tanto el fenómeno fue considerado teóricamente posible, pero de hecho muy poco probable.

Pero a principios de los años sesenta se descubrieron los «quásares». Eran galaxias que tenían centros muy activos y luminosos, y que estaban muy lejos. El quasar más próximo estaba a 1.000 millones de años luz de nosotros, mucho más lejos de todo lo

que hasta entonces se conocía, y algunos llegaban a estar a una distancia de hasta 10.000 millones de años luz. Están tan lejos que lo único que podemos distinguir es un pequeño centro luminoso que parece una estrella poco brillante y muy lejana.

Supongamos que hubiese una galaxia ordinaria entre el quasar y nosotros. La galaxia ordinaria podría estar lo bastante lejos para ser apenas visible, en caso de serlo, pero considerablemente más cerca que el quasar. La luz del quasar en su camino hacia nosotros pasaría junto a la galaxia ordinaria por diferentes lados y nos llegaría desenfocada. En tal caso, probablemente veríamos dos imágenes del quasar, una a cada lado de la galaxia ordinaria. Esto sería el efecto de una lente gravitatoria.

En 1979, unos astrónomos de la Universidad de Arizona detectaron dos quásares muy próximos entre sí, que se parecían mucho en el aspecto, el brillo y las propiedades de la luz que emitían. ¿Podían ser dos imágenes de la misma galaxia, producidas por una lente gravitatoria? Si era así, tendría que haber una galaxia ordinaria entre nosotros y el quasar. Se procedió a buscarla y se encontró una muy tenue. Había sido detectado el primer ejemplo de lente gravitatoria.

Naturalmente se buscaron otros casos, y los astrónomos creen haber encontrado hasta siete de tales imágenes deformadas de quasar, producidas por lentes gravitatorias.

Esto nos lleva a los arcos luminosos que rodean unas pocas galaxias lejanas y que fueron descubiertos a principios de 1987 por Vabe Petrosian, de Stanford, y C. Roger Lynds, del Observatorio Nacional de Kitt Peak, cerca de Tucson, Arizona.

Estos arcos eran ricos en luz ultravioleta y parecían ser delicada y perfectamente circulares; uno de ellos tiene nada menos que 325.000 años luz de longitud, lo cual quiere decir que es mucho más largo que nuestra galaxia.

Petrosian y Lynds pensaron que si un quasar estaba centrado exactamente detrás de una galaxia, la imagen tendría que aparecer igualmente por todos lados y tomar el aspecto de un arco circular o de parte de arco. Buscaron galaxias tenues que pudiesen estar entre los arcos circulares y nosotros; encontraron dos, y en noviembre de 1987 anunciaron que los arcos tenían que ser producidos por una lente gravitatoria.

Estas lentes gravitatorias pueden hacer algo más que ofrecernos una vista espectacular (al menos a quienes tienen un telescopio lo suficientemente grande). Pueden ayudarnos a resolver un enigma. La mayoría de los astrónomos creen que el universo dejará de expandirse en un futuro lejano y empezará a contraerse. Pero la cantidad de materia que vemos en el universo es sólo un 10 por ciento aproximado de la necesaria para producir una atracción gravitatoria suficiente para detener la expansión.

¿Significa esto que el universo puede no dejar nunca de expandirse? ¿O existe alguna clase de materia que no podemos ver y que constituye el 90 por ciento del universo?

Bueno, las galaxias que están entre nosotros y los arcos luminosos no parecen tener materia suficiente para desviar lo suficiente la luz del quasar para producir aquel efecto. Pero lo cierto es que desvían la luz. De ello se desprende que tienen una masa mucho mayor de la que parecen tener, y esto quiere decir que deben poseer materia que nosotros no detectamos de la manera acostumbrada.

Pero ¿qué puede ser esta materia imposible de detectar?

Este problema ha sido llamado el «misterio de la masa oculta», y podría ser que estos arcos luminosos nos diesen alguna pista para la solución de tal misterio.

LOS OBJETOS INTERMEDIOS Y LA MASA OCULTA

Los astrónomos conocen las estrellas y conocen los planetas, pero ahora están muy atareados buscando cuerpos intermedios que sean demasiado pequeños para ser estrellas

y demasiado grandes para ser planetas. Son objetos muy escurridizos, pero su existencia —si es que existen— podría ser muy importante.

Desde luego, la estrella que conocemos mejor es nuestro Sol, y el planeta más grande, Júpiter. La masa del Sol, la cantidad de materia que contiene, es aproximadamente mil veces mayor que la de Júpiter.

El Sol tiene una masa tal que los átomos de hidrógeno de su núcleo están aplastados y comprimidos a altísima temperatura, y por consiguiente se hallan sometidos a fusión. Esta desprende grandes cantidades de energía, que es la razón de que brille el Sol y de que haya estado brillando desde hace miles de millones de años. Júpiter no es lo bastante grande para tener en su núcleo átomos comprimidos a tan alta temperatura y sometidos a fusión. Es demasiado frío para brillar por sí solo; lo vemos sólo por la luz del Sol que refleja.

Desde luego hay estrellas de todos los tamaños. Cuanto más grande es una estrella, más energía se genera en su núcleo y brilla con más esplendor. Hay estrellas que tienen hasta sesenta veces la masa del Sol. Por otra parte, las estrellas más pequeñas que el Sol son menos luminosas y más frías. Algunas pueden tener sólo una décima parte de la masa del Sol.

Las estrellas más pequeñas que vemos están únicamente al rojo y por esta razón son llamadas «enanas rojas». Son demasiado pálidas para verlas a grandes distancias, y podemos estudiar mejor las que no están muchos años luz lejos de nosotros. Las enanas rojas más pequeñas pueden tener sólo una centésima parte de la masa de Júpiter.

Si una enana roja es tan pequeña que no produce suficiente calor para brillar con luz propia visible, podríamos llamarla «enana negra». Júpiter podría ser considerado como una enana negra. Y también la Tierra y todos los restantes planetas que conocemos.

Pero ¿y si hubiese en el espacio cuerpos con más masa que Júpiter pero menos que las enanas rojas, cuerpos con una masa de diez a ochenta veces mayor que la de Júpiter? No lo serían lo bastante para producir fusión de hidrógeno y brillar como las estrellas, ni siquiera las más pálidas. Por otra parte, podrían tener masa suficiente para ocasionar algunas formas de reacción nuclear diferentes de la ordinaria fusión del hidrógeno.

O su atracción gravitatoria podría ser lo bastante grande por sí sola para calentarlos hasta el punto de que irradiasen pequeñas cantidades de energía.

Tales cuerpos intermedios producirían una luz roja muy pálida. También podrían producir cantidades de luz infrarroja menos energética, que nuestros ojos no pueden ver, pero que nuestros instrumentos sí pueden detectar. Estos cuerpos no serían completamente negros, por lo que ahora los llamamos «enanas pardas». (El calificativo es inadecuado porque en realidad no son pardas; sería más acertado llamarlas «enanas infrarrojas»).

Las estrellas pequeñas son más comunes que las grandes.

Las grandes, con mucha masa, son muy raras, e incluso las de medianas dimensiones, como el Sol, son relativamente pocas.

Al menos las tres cuartas partes de todas las estrellas brillantes son enanas rojas. De esto se deduce que las enanas pardas, que son todavía más pequeñas, deberían ser muy abundantes.

Si fuese así, sería importante. Los astrónomos saben desde hace años que las galaxias parecen tener una masa considerablemente mayor que la representada por las estrellas que vemos en ellas. Esto se conoce como el «misterio de la masa oculta». Pero si todas las galaxias (incluida la nuestra) tuviesen grandes cantidades de enanas pardas, que no podemos ver, esto explicaría al menos parte de la masa que falta, si no toda ella. La confirmación de esta masa adicional agudizaría nuestras teorías sobre el futuro desarrollo del universo y su último destino.

Por otra parte, podría suceder que la mecánica de formación de las estrellas fuese tal que no se formasen cuerpos de diez a ochenta veces la masa de Júpiter. En tal caso, sería mucho más difícil explicar el misterio de la masa desaparecida. Por esta razón los astrónomos están buscando señales de la existencia de las enanas pardas. En los últimos años se han informado del descubrimiento de enanas pardas, pero hasta ahora las informaciones han resultado prematuras.

Parece que los mejores lugares donde buscarlas serían las áreas relativamente próximas en las que se está desarrollando ahora la formación activa de estrellas, y donde podrían detectarse estrellas jóvenes y nuevas. Entre ellas podría haber algunos cuerpos lo bastante pequeños para ser enanas pardas. Hay una de estas regiones en la constelación de Tauro, y a principios de este año un grupo de astrónomos, dirigido por William Forrest, de la Universidad de Rochester, Nueva York, comunicaron que habían detectado objetos que podían ser enanas pardas.

Estos objetos emiten radiaciones de onda larga que son detectadas por los instrumentos, y no parecen girar alrededor de estrellas ordinarias, por lo que no pueden ser planetas que reflejen la radiación de aquéllas. Son objetos independientes.

Forrest calcula que estas enanas pardas podrían tener de cinco a quince veces la masa de Júpiter. Además, partiendo del hecho de que ha descubierto siete de estos objetos en una pequeña área, calcula que puede haber al menos un centenar de enanas pardas por cada estrella ordinaria, en esta región. Si esto se confirma, y si se descubre que también sucede en otras áreas del espacio, podrá haber sido resuelto el misterio de la masa oculta.

GALAXIAS EN COLISIÓN

Si la Tierra o el Sol sufriesen una colisión importante con algún otro cuerpo astronómico, eso significaría probablemente el fin de la vida en nuestro planeta. Pero ¿y si toda nuestra galaxia, que contiene nuestro Sol y unos 200.000 millones de estrellas, sufriese una colisión importante?

Semejante colisión no es probable que ocurra en un futuro inmediato, pero a la larga seguramente sucederá. Nuestra galaxia, la Vía Láctea, no está sola en el espacio, como todos sabemos. Forma parte de un grupo de unas dos docenas de galaxias denominadas, en su conjunto, Grupo Local.

La mayoría de las galaxias del Grupo Local son enanas, y cada una de ellas contiene sólo unos pocos miles de millones de estrellas. Un ejemplo de ello es la Gran Nube de Magallanes, que está sólo a 150.000 años luz y contiene 10.000 millones de estrellas. (Esta galaxia está de actualidad porque en febrero de 1987 estalló en ella una supernova, que ha sido la más próxima a la Tierra en casi cuatrocientos años.)

Pero no todas las galaxias del Grupo Local son enanas.

Una de ellas, Andrómeda, más gigantesca que nuestra propia galaxia, contiene tal vez 300.000 millones de estrellas. Está más cerca de la Tierra que cualquiera de las otras galaxias gigantes: a unos 2,3 millones de años luz. Esto es más de quince veces la distancia de la Gran Nube de Magallanes.

Estas dos galaxias gigantes, nuestra Vía Láctea y la galaxia de Andrómeda, no están permanentemente fijas a aquella distancia. Ambas se mueven alrededor de un centro común de gravedad. Y lo que es más, las órbitas son completamente elípticas, de manera que se acercan y separan en períodos de muchos millones de años.

Si estas dos galaxias gigantes estuviesen solas en el espacio, continuarían su baile eternamente, o hasta que todo el universo llegase a su fin. Pero todas las restantes galaxias del Grupo Local ejercen una atracción gravitatoria, de manera que la Vía

Láctea y Andrómeda siguen un camino un poco complicado que puede hacer que, ocasionalmente, se acerquen demasiado.

En una palabra, pueden chocar, y a la larga seguramente chocarán. (Hay ejemplos de choques de galaxias entre los muchos millones que podemos ver en el cielo.)

¿Qué ocurrirá entonces?

Desde luego, las galaxias no son objetos sólidos sino simplemente grupos de muchos miles de millones de estrellas.

Estas estrellas están tan separadas y son tan pequeñas en comparación con las distancias entre ellas, que si las dos galaxias se dieran de refilón no sucedería gran cosa. Las estrellas de una de ellas se moverían entre las de la otra, sin probabilidad virtual de colisiones, y sólo se afectarían ligeramente las unas a las otras. En definitiva, las dos galaxias se separarían y seguirían su camino.

Pero ¿y si las dos galaxias chocan «de frente», por decirlo así, de manera que el centro de una se acerque lentamente y se fusione con el centro de la otra?

Las estrellas están mucho más apretadas en el centro, lo cual aumentaría en gran manera las probabilidades de colisiones estelares. Peor aún, los astrónomos están casi convencidos de que en el centro de cada galaxia hay un agujero negro con la masa de millones de estrellas ordinarias. Los agujeros negros engullirían miles y hasta millones de estrellas al introducirse cada uno en el otro, y se fusionarían al fin, produciendo un gigantesco campo gravitatorio que seguiría atrayendo estrellas.

Esto generaría una enorme cantidad de radiación. El centro combinado de las dos galaxias emitiría radiaciones equivalentes a las de cien o más galaxias del tipo ordinario. Dicho en pocas palabras, las dos galaxias pueden convertirse en un «quasar», la clase de objeto superbrillante que era más común en la época temprana del universo y que podemos detectar aún a miles de millones de años luz de distancia.

La radiación del nuevo quasar calentará el gas tenue que existe entre las estrellas y lo expulsará de las galaxias. Esto significa que no podrán nacer nuevas estrellas y que las dos galaxias sufrirán inevitablemente un continuo proceso de envejecimiento.

La radiación del quasar en el centro de las galaxias estará a 30.000 años luz de la Tierra, porque afortunadamente estamos en las afueras de nuestra galaxia. Esto quiere decir que la radiación habrá disminuido mucho cuando llegue hasta nosotros y será totalmente detenida por nuestra atmósfera. Podremos ver una estrella muy brillante en el cielo, en la constelación de Sagitario. Será el quasar del centro, no enmascarado por las nubes de polvo y de gas que existen ahora entre él y nosotros. También podrá hacer más arriesgados los viajes espaciales.

Aunque la colisión desgarrase las galaxias y enviase a nuestro Sol, dando bandazos, hacia los espacios intergalácticos, esto no nos afectaría. La Tierra seguiría moviéndose en aquellos espacios, junto con el Sol y los otros planetas. Las estrellas de nuestro cielo se apagarían gradualmente y desaparecerían, pero la vida continuaría y no sentiríamos nada.

Desde luego, si el centro de Andrómeda avanzase por casualidad en nuestra dirección... Pero por fortuna se calcula que semejante colisión no sucederá durante los próximos 4.000 millones de años, por lo que no hay motivo de alarma inmediata.

A DIEZ MIL MILLONES DE AÑOS LUZ

Encontrar algo nuevo en el cielo es siempre apasionante, pero encontrar algo nuevo a una enorme distancia —como han hecho los astrónomos en la forma de un «doble quasar»— lo es mucho más. Cualquier cosa que veamos a tal distancia existió en la

juventud del universo, y los astrónomos están ansiosos por descubrir lo más posible sobre aquellos primeros días.

En 1963 empezó el estudio de la gran distancia, cuando se descubrieron los quásares. Éstos parecen débiles estrellas, pero resultó que están a distancias de 1.000 millones de años luz o más. Ahora han sido detectados cientos de ellos, y algunos están a 10.000 millones de años luz de distancia.

No podemos ver mucho más lejos. No es porque estemos penetrando en el final del universo (no tiene fin), sino porque al mirar cosas cada vez más lejanas estamos mirando más y más atrás en el tiempo. Un quasar que esté a 10.000 millones de años luz de nosotros es visto como era hace 10.000 millones de años, cuando el universo era muy joven. Si pudiésemos penetrar más lejos, podríamos estar viendo un universo en el que todavía no se habían formado las galaxias y donde las nubes de radiación caliente serían vistas sólo como una niebla opaca.

Para que los quásares sean visibles a semejante distancia, no pueden ser estrellas, como parecen, sino galaxias enteras. Una galaxia ordinaria, como nuestra Vía Láctea, no sería visible a tal distancia; pero los quásares tienen centros enormemente activos que por alguna razón resplandecen con una luz cien veces más intensa que la de las galaxias ordinarias. Resultado de ello es que pueden ser vistos a las distancias más remotas que podemos penetrar.

Parece que hace mucho tiempo hubo más galaxias superactivas de esta clase que ahora. ¿Es más probable que las jóvenes galaxias sean quásares? ¿Qué hace que los centros sean tan brillantes? ¿Cuál es su fuente de energía? ¿Qué le ocurre a un quasar cuando finalmente «se quema»? Los astrónomos tienen muchas preguntas sobre los quásares a las que les gustaría poder responder.

Durante casi veinte años, los quásares fueron considerados únicamente como objetos individuales; entonces, a principios de los años ochenta, se vio algún «doble quasar» ocasional. Se detectaron dos quásares que estaban muy cerca el uno del otro.

En aquel entonces habían progresado mucho las técnicas para estudiar los quásares mediante el empleo de radiotelescopios, así como de telescopios ópticos, y su luz podía ser analizada con detalle.

Resultó que la luz de aquellos dos quásares tan próximos era idéntica en todas sus características. No era como si hubiese dos quásares separados sino uno solo que por alguna razón se veía doble. ¿Cómo podía ser esto?

La respuesta lógica era que al viajar hacia nosotros, la luz de un quasar pasaba por una galaxia ordinaria que existía entre nosotros y él. Esta galaxia ordinaria era demasiado tenue para ser visible, pero su atracción gravitatoria curvaba un poco la luz del quasar. La luz era desviada hacia dentro en ambos lados de la galaxia, de manera que parte de ella pasaba muy ligeramente a la otra parte y terminaba en nuestros telescopios como un doble haz muy poco separado. Por consiguiente, vemos dos quásares donde en realidad no hay más que uno.

Este efecto se conoce con el nombre de lente gravitatoria, porque es el mismo que produciría una lente ordinaria. Setenta años antes de ser descubierto este fenómeno, Albert Einstein ya predijo la existencia de algo semejante.

Actualmente se conocen varios ejemplos de estas lentes gravitatorias, y pueden ser empleados para hacer deducciones sobre las galaxias que producen el efecto, aunque no puedan ser realmente vistas.

Cierto quasar, recogido en los catálogos con el nombre de PKS 1145-071, es conocido desde hace años y se encuentra a una distancia de unos 10.000 millones de años luz. Siempre había parecido un quasar ordinario, pero en diciembre de 1986 se

descubrió que era doble. Había allí dos quásares, muy próximos entre sí. Naturalmente, se supuso que era otro caso de lente gravitatoria.

En 1987, astrónomos del Multiple Mirror Telescope, de Arizona, analizaron la luz de cada uno de aquellos quásares tan próximos. Se descubrió por primera vez que la luz no era absolutamente idéntica en ambos. Había sensibles diferencias que indicaban que no se trataba de un solo objeto visto como doble, sino de dos objetos separados.

Si esta observación se confirmase, el PKS 1145-071 sería el primer caso descubierto de un verdadero quasar doble. Representaría dos galaxias con centros enormemente activos y lo bastante próximas para girar una alrededor de la otra.

En tal caso es posible que estas dos galaxias no estén solas. Pueden haber otras en sus cercanías, que no sean quásares, que no tengan centros superactivos, y que por tanto sean invisibles. En pocas palabras, parece que hay una remota posibilidad de que estemos ante un cúmulo de galaxias.

Hay cúmulos de galaxias. Nuestra propia Vía Láctea es parte de un cúmulo constituido por dos docenas de galaxias, y conocemos otros cúmulos con miles de miembros. Sin embargo, el nuevo descubrimiento demostraría que tales cúmulos pueden haber existido hace 10.000 millones de años. En tal caso esto obligaría a los astrónomos a reconsiderar algunas de sus ideas acerca de cómo se formaron las galaxias.

VISIÓN DEL PASADO

Hagamos lo que hagamos, no podemos ver las cosas tal como son ahora. La luz necesita tiempo para viajar desde un objeto hasta nuestros ojos, de manera que siempre vemos las cosas como eran en el pasado, nunca como son en la actualidad.

En condiciones ordinarias, esto tiene poca importancia. Si vemos a un amigo al otro lado de la calle, lo vemos como era hace una cienmillonésima de segundo, que es lo mismo que decir ahora. Pero, en cuanto nos alejamos de la Tierra y empezamos a mirar los cuerpos celestes, la situación cambia.

La luz tarda un segundo y cuarto en llegar hasta nosotros desde la Luna; de manera que mientras permanezcamos en la Tierra, siempre veremos la Luna cómo era hace un segundo y cuarto.

La luz tarda ocho minutos en llegar hasta nosotros desde el Sol, de modo que siempre vemos el Sol tal como era hace ocho minutos. Si por arte de magia el Sol fuese destruido de repente, seguiríamos tan contentos durante un rato, bañándonos en su luz y contemplándolo, como si no hubiese sucedido nada.

Pasarían ocho minutos antes de que nos alcanzasen los últimos rayos de luz, y sólo entonces nos veríamos sumidos en la oscuridad y sabríamos que el Sol había desaparecido.

Las condiciones son mucho más extremas cuando se trata de las estrellas. La distancia que recorre la luz en un año (9,4 billones de kilómetros) es un «año luz», y la estrella más próxima, Alfa Centauri, está a 4,3 años luz de nosotros. Esto significa que la luz tarda 4,3 años en viajar desde Alfa Centauri hasta nuestros ojos, y que siempre vemos aquella estrella tal como era hace 4,3 años.

Podríamos pensar que esto importa poco, porque Alfa Centauri era, hace 4,3 años, exactamente igual a como es ahora. Esto es verdad, porque las estrellas cambian muy despacio. Otros objetos celestes están mucho más lejos. Vemos la estrella Sirio tal como era hace 8,8 años, y la estrella Arturo tal como era hace 40.

De hecho, recibimos señales de radio del centro mismo de nuestra galaxia (el enorme conglomerado de 200.000 millones de estrellas dentro del cual está la Tierra y nuestro Sol).

Nuestra galaxia es tan enorme que aquellas señales de radio tardan 30.000 años en llegar hasta nosotros. Entonces, sólo podemos observar el centro de nuestra galaxia tal como era hace 30.000 años.

Y desde luego hay muchas galaxias que están muy lejos de la nuestra. La más próxima es Andrómeda (el objeto más lejano que podemos ver a simple vista). Está a 2,3 millones de años luz. Esto significa que cuando estudiamos el débil resplandor que alcanzamos a ver cuando observamos la galaxia de Andrómeda, la estamos viendo tal como era hace 2,3 millones de años. Nada podrá hacer que la veamos en tiempos más recientes.

Pero podemos observar galaxias que están mucho más lejos que Andrómeda: a decenas de millones, e incluso a miles de millones de años luz. Cuando llegamos a tales distancias, estamos mirando tan lejos en el pasado que realmente ha habido tiempo para que se produjesen enormes cambios, incluso en objetos de tan larga vida como las estrellas y las galaxias. Conseguimos verlas tal como eran en su juventud.

Desgraciadamente, cuanto más lejos está el objeto y más lejano es el pasado que tratamos de sondear, más pálido es y menos detalles podemos ver. (¡No se puede ganar siempre!)

Los científicos calculan que el universo tuvo su origen hace unos 15.000 millones de años, y los miles de millones de galaxias que ahora existen debieron de empezar a formarse en los primeros miles de millones de años después de aquel comienzo. Entonces, si queremos ver las cosas tal como eran al principio, debemos observar objetos que están a distancias de miles de millones de años luz. Y a estas distancias, incluso la galaxia más grande se nos presenta sólo como una ínfima radiación.

A principios de enero de 1987, Hyron Spinrad, astrónomo de la Universidad de California, en Berkeley, anunció que se había observado precisamente uno de estos objetos. Era una galaxia llamada 3C 326.1, que estaba nada menos que a una distancia de 12.000 millones de años luz. Esto quiere decir que puede verse tal como era hace 12.000 millones de años, cuando era joven, y posiblemente se estaba formando. Es la primera vez que los astrónomos han observado una gran galaxia en el proceso de su nacimiento.

Desde luego lo único que reciben es la fracción más minúscula de radiación en los más avanzados telescopios ópticos y radio que existen. Sin embargo, analizando cuidadosamente la radiación que obtienen, pueden decir que la joven galaxia consiste en una enorme y caliente nube de gas unas tres veces más grande que nuestra propia galaxia. También parece que al menos 1.000 millones de estrellas se han formado ya dentro de ella. Es de suponer que se formarán otros cientos de miles de millones (o mejor dicho, se han formado hace miles de millones de años, aunque su luz no ha llegado aún hasta nosotros).

También hay ondas de radio que llegan hasta nosotros desde esta joven galaxia y que deben de ser emitidas por un agujero negro situado en el centro de la misma. Los astrónomos suponen que muchos agujeros negros se formaron en el mismo origen del universo, cuando se produjo el big bang, y sirven de núcleos alrededor de los cuales se forman las galaxias. Esta joven galaxia y otros «bebés galácticos» que podamos observar en el futuro pueden ayudarnos a consolidar aquellas teorías.

EL TELESCOPIO MÁS RÁPIDO

La Universidad de Columbia está proyectando construir un telescopio completamente nuevo, que no pretenderá ser grande sino rápido.

Tendrá un espejo formado por mil pares de superficies cada una de ellas de aproximadamente un centímetro y medio de diámetro y alojadas en tubos del tamaño de saleros que serán mantenidos en su sitio por imanes de estado sólido.

Todas las superficies se mantienen en coordinación exacta por medio de un robot, y cada una de ellas está destinada a descomponer la luz de una estrella particular en un arco iris (o espectro) que pueda ser estudiado con detalle. El costo del telescopio se calcula en 30 millones de dólares.

Un telescopio grande ordinario puede enfocar una región del cielo de sólo el doble del área ocupada por la Luna. En cambio el telescopio rápido de Columbia será capaz de estudiar una extensión cien veces más grande. Un telescopio grande ordinario generalmente puede estudiar el espectro de una estrella, o de otro cuerpo celeste, cada vez. El telescopio rápido de Columbia podrá analizar los espectros de mil cuerpos diferentes a la vez. Esto es importante porque el espectro nos da una enorme cantidad de información sobre un cuerpo celeste. Nos dice su composición química, la temperatura de su superficie, la velocidad con que se acerca o se aleja de nosotros, sus propiedades magnéticas, etc.

Los espectros son particularmente importantes en relación con las galaxias, que están desperdigadas a distancias de miles de millones de años luz en todo el universo visible. Cada galaxia está constituida por muchos miles de millones (a veces billones) de estrellas.

Todas las galaxias lejanas se están alejando de nosotros, porque el universo se expande en su conjunto. Cuanto más deprisa se aleja una galaxia, más lejos está. Como el espectro de una galaxia nos indica la velocidad con que se aleja, nos dice por tanto lo lejos que está.

Si tuviésemos el espectro de todas las galaxias y conociésemos la distancia de cada una de ellas, podríamos construir un modelo tridimensional del universo y ver cómo están distribuidas aquéllas. Esto podría ayudarnos a saber cómo se formaron las galaxias, y a su vez esto nos diría mucho sobre la edad del universo, que a su vez podría darnos información sobre su origen y su posible fin.

Tal vez hay un total de 100.000 millones de galaxias en el universo, aunque la inmensa mayoría de ellas están tan lejos y son tan tenues que sus espectros no se pueden estudiar. Pero hay al menos dos millones lo bastante próximas a nosotros como para permitir un estudio más detallado. Sus espectros han sido tomados y estudiados durante tres cuartos de siglo, pero en todo este tiempo sólo 7.500 han sido adecuadamente estudiadas y se han determinado las distancias a las que se encuentran.

Esto es bastante para dar a los astrónomos la idea de que las galaxias están dispuestas de una manera complicada y misteriosa, pero tenemos que conocer muchas más distancias si queremos tener una oportunidad de captar y comprender su disposición. Los astrónomos esperan doblar el número de distancias galácticas conocidas, un proyecto que requeriría nueve años con telescopios ordinarios. En cambio, el de Columbia, una vez se haya construido, tomará mil espectros a la vez y en una semana doblará el número de distancias conocidas. En dos años podría determinar la distancia de un millón de galaxias y multiplicar por quinientos el volumen del espacio examinado. ¡Entonces sabríamos mucho más acerca del universo!

Otro gran enigma del universo es la «masa oculta». Hay señales de que toda la masa que podemos detectar en el universo es sólo el uno por ciento o menos de la masa total. La cantidad de masa que está presente en el universo determina lo que serán el curso de su historia y de su final, pero no podemos estar seguros de aquel curso y de este final mientras no sepamos cuál es la masa que falta.

Nuestra propia Vía Láctea contiene unos 200.000 millones de estrellas, pero también ella puede tener su parte de masa oculta. Nos sería de mucha utilidad conocer la distribución exacta de todas las estrellas de nuestra galaxia, pero también esto requiere conocer las distancias, las velocidades y otros detalles de muchos millones de estrellas. Los telescopios ordinarios no pueden realizar esta tarea sin emplear muchos años en su ejecución.

El telescopio rápido de Columbia podría suministrar en muy poco tiempo los datos necesarios que harían posible comprender la verdadera organización de nuestra galaxia y tal vez nos daría una idea de lo que puede ser la masa oculta y de dónde podríamos encontrarla.

Además, un estudio realmente extenso de los espectros de numerosas estrellas nos daría una información detallada sobre la composición química de cada una de ellas. La química del universo está cambiando constantemente porque en el núcleo de las estrellas se están formando elementos pesados. Las supernovas escupen estos elementos en las nubes cósmicas de polvo y de gas, y de este material nacen nuevas estrellas.

Si tuviéramos más información sobre la química actual de las estrellas, podríamos deducir cómo se formaron los elementos y tener una idea del curso de desarrollo de la galaxia. En unos pocos años de funcionamiento, el telescopio rápido de Columbia podría darnos detalles sobre la estructura galáctica, casi más allá de lo que podemos imaginar, y podríamos saber mucho más sobre el origen del Sol, de la Tierra... y de nosotros mismos.

EL MÁS ANTIGUO CUMPLEAÑOS

El objeto más antiguo del universo es evidentemente el universo mismo. El universo tiene el cumpleaños más antiguo, pero saber los años que cumple es todavía materia de discusión, y el último cálculo se hizo en 1987.

Hasta hace sesenta años, nadie tenía la menor idea de lo viejo que podía ser el universo. Aunque la Tierra tenga 4.600 millones de años (cifra de la que ahora están seguros los científicos), el universo podía haber existido desde tiempo incalculable antes de la formación de aquélla.

Pero entonces, en los años veinte, Edwin P. Hubble calculó las distancias de varias galaxias respecto de la Tierra y la velocidad con que se alejaban de nosotros. (Casi todas se estaban alejando.) Parecía claro que cuanto más lejos estaba la galaxia, más deprisa se alejaba y con una velocidad proporcional a su distancia. Este alejamiento universal fue fácilmente explicado por la teoría de que el universo se está expandiendo como un todo.

Si imaginásemos que se invirtiese el tiempo (como en una película en proyección invertida), parecería que todas las galaxias se acercarían entre sí hasta juntarse en un gran conglomerado.

Por esta razón el astrónomo belga Georges Lemaître sugirió en 1927 que el universo empezó con una estrecha acumulación de materia que estalló. Las galaxias aún están alejándose unas de otras, como resultado de aquella explosión inicial que se conoce popularmente como el big bang.

En 1929, Hubble sugirió que el big bang se había producido hace 2.000 millones de años. Esto produjo una gran conmoción, porque los geólogos estaban seguros de que la Tierra era considerablemente más vieja (más del doble, sabemos ahora). El cálculo de Hubble significaba que la Tierra era más vieja que todo el universo.

Los astrónomos creían que no se podía discutir sobre las galaxias, por lo que la cuestión quedó atascada hasta 1942.

Aquel año, el astrónomo germanoamericano Walter Baade aprovechó el oscurecimiento del tiempo de guerra para estudiar la galaxia Andrómeda (la galaxia grande más próxima) con todo detalle. Resultó que uno de los aparatos empleados por los astrónomos para estimar las distancias a las galaxias presentaba ciertas dificultades inesperadas. Teniendo en cuentas estas dificultades, resultó que estaban tres veces más lejos las unas de las otras de lo que se creía. Esto significaba que si se invirtiese la película del tiempo, las galaxias tardarían al menos tres veces más en juntarse, de manera que el big bang había tenido lugar al menos tres veces antes de lo que previamente se había calculado. Con un nuevo mínimo de edad del universo de 6.000 millones de años, los geólogos quedaron satisfechos.

Pero la cosa no quedó así. Los astrónomos siguieron haciendo cálculos más exactos sobre la velocidad con que se alejaban las galaxias e hicieron cuidadosas observaciones que les dijeron lo viejas que podían ser las estrellas individuales. El resultado de ello es que actualmente los astrónomos están convencidos de que el universo tiene entre 10.000 y 20.000 millones de años de antigüedad. La cifra citada más a menudo (por ejemplo, por mí) está a medio camino entre aquellas dos, o sea 15.000 millones de años. Pero la mayoría de los astrónomos opinan que la verdadera cifra es probablemente de más de 15.000 millones de años, y no de menos.

El astrónomo Harvey Butcher, de la Universidad de Groninga, en los Países Bajos, ha abordado el problema desde otro ángulo. El análisis de la luz de una estrella particular puede decirnos qué elementos químicos están presentes en ella. Algunos de estos elementos son radiactivos; las edades de estas estrellas pueden calcularse partiendo de la cantidad de elementos presentes que son producidos por aquella radiactividad. Algunas estrellas parecen ser aproximadamente tan viejas como el universo y debieron formarse poco después del big bang.

Butcher ha estudiado los elementos torio y neodimio en aquellas viejísimas estrellas. En las condiciones del interior de las estrellas, el torio debería descomponerse, a cierta velocidad, en neodimio. Butcher calculó que aquella descomposición se venía produciendo desde hacía unos 10.000 millones de años. Esto querría decir que las propias estrellas no tenían más de 10.000 millones de años, cifra que anunció en julio de 1987. Como aquellas estrellas son de las más viejas que podemos ver, el universo no debe tener más de 11.000 o 12.000 millones de años.

Sin embargo, los cálculos de Butcher son sumamente delicados y es posible que las estrellas que ha estudiado no sean realmente las más viejas. Por consiguiente, los astrónomos reaccionaron con cautela ante el nuevo cálculo. La edad del universo, con un margen de mil millones de años, está aún por decidir.

¿SUPERESTRELLAS?

A menudo una observación o teoría importante de un gran científico de décadas o siglos pasados tiene que ser ampliada o modificada. Pero de vez en cuando hay que renunciar a la ampliación y reconocer que a fin de cuentas el científico tenía toda la razón. Uno de estos casos de volver a donde estábamos sucedió en 1988.

La cosa empezó con el astrónomo británico Arthur S. Eddington, que en los años veinte formuló la siguiente pregunta: ¿Por qué la enorme atracción gravitatoria de una estrella como el Sol no le obliga simplemente a contraerse formando una pequeña bola de átomos apretujados?

La respuesta parecía ser que el calor interior del Sol lo mantenía dilatado contra la atracción de la gravitación. Eddington empezó a estudiar el equilibrio entre la atracción

gravitatoria y el calor interior, y dedujo que el núcleo del Sol tenía que estar a una temperatura de millones de grados C.

Esto era importante para explicar la naturaleza de las reacciones nucleares dentro del Sol y la manera en que éste y otras estrellas obtenían la energía necesaria para brillar durante miles de millones de años.

Eddington descubrió que cuanto mayor era la masa de una estrella, más intensa era su atracción gravitatoria y más alta tenía que ser la temperatura del centro para equilibrar aquella atracción. Cuando la estrella tuviese entre sesenta y cien veces la masa del Sol, ya no sería posible mantener el equilibrio.

Para evitar que la estrella se colapsase, su temperatura interior hubiese debido ser tan elevada que la estrella habría estallado.

Por consiguiente, concluyó Eddington, no podían existir estrellas con una masa mucho mayor de sesenta veces la del Sol.

Y ciertamente, durante medio siglo, no hubo razón para pensar que estuviese equivocado. No se encontraron estrellas de una masa mayor.

Pero en los años ochenta se descubrieron estrellas que parecían tener una masa varios cientos y hasta más de mil veces la del Sol. ¿Cómo eran posibles estas «superestrellas»?

Había que revisar y modificar el trabajo de Eddington para explicar estas enormes estrellas. (En realidad, hace varios años escribí un ensayo sobre estas superestrellas y cómo estaban cambiando nuestras ideas acerca de la física estelar.)

Pero entonces se partieron, casi literalmente.

Por ejemplo, hay en la Gran Nube de Magallanes una estrella llamada Sanduleak. Se sabía que su distancia era de unos 160.000 años luz, y brillaba tanto a esta distancia que debía tener una masa de al menos 120 veces la del Sol para producir aquella luz.

Sin embargo, a principios de 1988, se observó y fotografió con telescopios más modernos y mejores. Entonces se analizó la imagen de la estrella con las técnicas más actuales y se vio que el brillo variaba de una punta a otra. Resultó que la estrella no tenía un brillo uniforme y que por tanto no era una sola estrella. En realidad era un enjambre muy apretado de al menos seis estrellas. A la gran distancia de Sanduleak, este enjambre parecía fundirse en una sola estrella al ser vista en condiciones telescópicas ordinarias.

Gracias a esta técnica, otras estrellas muy brillantes, y por consiguiente con mucha masa, han resultado ser apretados grupos de estrellas, ninguna de las cuales parece tener una masa sesenta veces mayor que la del Sol. Dicho en otras palabras, Eddington tenía toda la razón y las superestrellas se han desvanecido en el cielo.

¿Tiene esto alguna importancia, aparte del hecho de que Eddington podrá descansar tranquilamente en su tumba? De hecho la tiene. En primer lugar demuestra una vez más que los científicos tienen que estar investigando y sometiendo constantemente a comprobación sus conclusiones, ya que sus descubrimientos pueden estar sometidos a cambios.

En este caso, la confirmación de las teorías de Eddington tuvo más importancia que la simple existencia o inexistencia de superestrellas. El descubrimiento de enjambres de estrellas hizo que los científicos revisasen sus cálculos acerca de las distancias a que se hallan las galaxias de la Tierra.

Para los astrónomos, es importante calcular la distancia de las galaxias de luz débil, con el fin de tener una idea general de la dimensión total del universo. Para ello prueban diferentes técnicas, determinando las distancias a las galaxias más próximas, empleando éstas para calcular las de otras más lejanas, y así sucesivamente.

Una técnica fue estudiar las galaxias que estaban tan próximas que podían distinguirse estrellas individuales en ellas pero tan lejos que las únicas que podían verse

eran las muy brillantes. Se supuso que estas estrellas «muy brillantes» en aquellas galaxias lejanas proyectaban tanta luz como la más brillante de nuestra propia galaxia. Sabíamos a qué distancia estaban y el brillo que tenían las estrellas brillantes de nuestra galaxia. Por tanto era posible calcular lo lejos que estaban las galaxias distantes, calculando que sus estrellas más brillantes no lo pareciesen más de lo que eran.

Pero puede ser que nos hayamos estado equivocando.

Puede ser que así como vemos las estrellas de nuestra galaxia con bastante claridad para estar seguros de que son estrellas individuales, las más brillantes de las galaxias lejanas en realidad sean enjambres que, en su conjunto, brillan mucho más de lo que podrían hacerlo las estrellas individuales.

Si es así, algunas galaxias distantes podrían estar dos o tres veces más lejos de lo que pensamos, lo bastante para que un enjambre de estrellas tenga aproximadamente el mismo brillo que tendría una sola si estuviese más cerca. En este caso, el universo sería mucho más grande y antiguo de lo que creíamos, y esto haría que los astrónomos tuviesen que revisar sus cálculos.

EL PEQUEÑO PULSAR

El 18 de enero de 1989, los astrónomos detectaron al fin algo que habían estado buscando durante dos años.

Dos años antes se había visto explotar una estrella en la Gran Nube de Magallanes, que se convirtió en la supernova 1987 A. En teoría, parte de ella hubiese debido contraerse y convertirse en una estrella de neutrones. Podría haber sido un cuerpo pequeño, de unos veinticinco kilómetros de diámetro, pero que habría tenido una masa parecida a la de nuestro Sol.

Giraría muy rápidamente y se podría detectar, porque emitiría rayos de luz y otras radiaciones en pulsaciones, una por cada rotación. Por esta razón, a la estrella de neutrones se la llama también «estrella pulsante» y abreviadamente «pulsar».

Los púlsares fueron descubiertos en 1969, y el primero que se estudió giraba sobre su eje en un segundo y un tercio o sea a razón de tres cuartos de giro por segundo. Una velocidad asombrosa. La Tierra gira en veinticuatro horas y, considerando que tiene un diámetro de 12.800 kilómetros, un punto de su ecuador se mueve aproximadamente a la velocidad de unos 1.650 kilómetros por hora, o sea casi medio kilómetro por segundo.

Júpiter, que tiene 140.000 kilómetros de diámetro, gira en 9,9 horas, de modo que un punto de su ecuador se mueve a una velocidad de unos 11,8 kilómetros por segundo. Si la Tierra girase a esta velocidad, lanzaría materia ecuatorial al espacio, pero Júpiter tiene una atracción gravitatoria más intensa.

Sin embargo, el primer pulsar descubierto giraba tan rápidamente que a pesar de su pequeño tamaño un punto de su ecuador se movía a un poco más de sesenta y cuatro kilómetros por segundo.

Los astrónomos decidieron rápidamente que la rotación de un pulsar debía disminuir gradualmente con el tiempo. Por consiguiente, un pulsar joven debía girar más rápidamente que uno más viejo. El pulsar más joven que conocíamos (antes de 1989) era uno de la Nebulosa de Cáncer, que tiene sólo novecientos años. Y se da el caso de que gira a razón de treinta vueltas por segundo, o sea unas cuarenta veces más deprisa que el viejo pulsar que fue el primero en ser descubierto. Un punto en el ecuador del pulsar de Cáncer se movería a unos dos mil quinientos kilómetros por segundo. Sólo la enorme atracción gravitatoria de un pulsar (tal vez veinticinco mil millones de veces mayor que la de la Tierra) podría mantener unido un objeto con una tal velocidad de rotación.

Pero en 1982 los astrónomos descubrieron un pulsar que giraba a razón de 642 vueltas por segundo, y era viejo. Daba una vuelta sobre su eje en poco más de una milésima de segundo. Un punto de su ecuador debía moverse a una velocidad de 51.000 kilómetros por segundo, o sea un cuarto de la velocidad de la luz. Fueron descubiertos otros púlsares igualmente rápidos, que por lo general se encontraban cerca de otra estrella. Estos púlsares recogían material de la estrella próxima que hacía que aumentasen su velocidad, y a veces que absorbiesen por entero la estrella compañera.

Pero ¿a qué velocidad gira un pulsar recién formado? En cuanto apareció la supernova 1987 A, los astrónomos confiaron en poder ver un pulsar recién nacido. Desgraciadamente, los restos de las regiones exteriores de la enorme explosión ocultaban el centro donde debía estar el pulsar. Sólo ahora se ha disipado ligeramente la niebla y ha sido posible detectar las pulsaciones, y resulta que se generan con un ritmo de 1.969 veces por segundo. El pequeño pulsar gira en la mitad de una milésima de segundo. Esto es más del doble de lo que habían predicho los astrónomos más audaces.

Un pulsar que gira 1.969 veces sobre su eje por segundo tiene un punto en el ecuador que se mueve a una velocidad de 160.000 kilómetros por segundo, o sea a más de la mitad de la velocidad de la luz. Esto es asombroso, porque incluso el campo gravitatorio enormemente intenso de un pulsar a duras penas puede mantener unido lo que está girando a tal velocidad.

Y esto no es lo más asombroso del descubrimiento. También se vio que el brillo del pulsar fluctúa un tanto en un período de ocho horas. Esto significa probablemente que tiene un objeto compañero con tal vez una milésima de su propia masa, es decir, con la masa de Júpiter. Los dos giran, uno alrededor del otro, describiendo una revolución cada ocho horas.

Sin embargo, el pulsar y su planeta están tan cerca el uno del otro que uno se pregunta cómo pudo sobrevivir el planeta a la explosión. En realidad está tan cerca del pulsar que antes de la explosión debía hallarse dentro de las capas exteriores de la estrella.

Una posible explicación fue que hace dos años, cuando se formó el pulsar y era como un niño recién nacido, giraba aún a más de 1.969 veces por segundo y no se mantuvo unido. Un pequeño fragmento debió salir despedido, llevándose consigo parte de la energía con que giraba el pulsar. Entonces, lo que quedó de éste giró más lentamente y pudo mantenerse unido.

El rápido giro suscita también preguntas sobre como puede ser tan brillante el pulsar, sobre lo fuerte que debe ser su campo magnético, etc. Pero los astrónomos sólo pudieron observarlo durante poco tiempo, antes de que las nubes que lo rodeaban se espesaran de nuevo. Los astrónomos aún están esperando ocasiones para poder observar más claramente las propiedades del pulsar. Tal vez se aclaren entonces algunos enigmas, o se hagan todavía más desconcertantes.

MÁS ALLÁ DEL MÁS ALLÁ

En el otoño último, el *Voyager 2* pasó por delante de Neptuno después de un viaje de doce años, y ahora se dirige mucho más allá. Lleva una grabación en la que se explican cosas de la Tierra e incluyen vistas y sonidos de nuestro planeta. Esto ha asustado a algunos, que piensan que estamos dando nuestra dirección a criaturas de otros mundos que podrían venir a conquistarnos.

Los que piensan de este modo no comprenden las dimensiones del universo ni las probabilidades de que el *Voyager 2* sea encontrado por alguien.

El *Voyager 2* tardó doce años en ir de la Tierra a Neptuno, y ahora va más allá. ¿Adónde irá en lo sucesivo? ¿Qué mundos alcanzará? El *Voyager 2* está navegando, sometido a la fuerza decreciente del campo gravitatorio del Sol (al alejarse de éste) y de los cada vez más débiles efectos de los campos gravitatorios de diferentes estrellas. Podemos emplear estos efectos de gravitación para intentar saber exactamente adonde irá el *Voyager 2*.

Conocemos todas las estrellas más próximas y probablemente el *Voyager 2* no chocará con ninguna de ellas. Desde luego puede haber cuerpos oscuros de los que no tengamos conocimiento, o un planeta errante, o un asteroide con los que podría chocar, pero las probabilidades son tan ínfimas que es inútil pensar siquiera en ello.

El Sol emite un «viento solar», un flujo de partículas cargadas, en todas direcciones. El flujo se hace cada vez más débil al alejarse del Sol, hasta que se desvanece en el espacio interestelar. El *Voyager 2* pasará más allá del alcance del viento solar en el año 2012.

En el año 8571 (casi dentro de 6.600 años), estará a 0,42 años luz del Sol. Esto representa unos 4 billones de kilómetros. Pero incluso la estrella más próxima está diez veces más lejos. Entonces el *Voyager 2* hará su máxima aproximación a la estrella Barnard, que ahora está a 5,9 años luz de nosotros (56 billones de kilómetros). El *Voyager 2* sólo estará a 4,03 años luz de ellas (38 billones de kilómetros). Después de pasar cerca de ella, si podemos llamarlo así, continuará su viaje.

En el año 20.319, el *Voyager 2* se encontrará a una distancia de 1 año luz del Sol (9,4 billones de kilómetros) y hará su mayor acercamiento a Próxima Centauri, que es la estrella más cercana a nosotros. Próxima Centauri dista de nosotros 4,3 años luz (40 billones de kilómetros), pero desde luego el *Voyager 2* no va en su dirección. Se está moviendo hacia un lado, y cuando se acerque más estará a 3,21 años luz (30 billones de kilómetros).

Sólo 310 años más tarde hará su máxima aproximación a Alfa Centauri, una estrella doble situada sólo un poco más lejos que Próxima Centauri. Esta máxima aproximación será a 3,47 años luz (32 billones de kilómetros).

Deben ustedes comprender que el *Voyager 2* todavía está lo bastante cerca del Sol como para que siga girando lentamente a su alrededor en respuesta a su atracción gravitatoria.

Aún está dentro del sistema solar. Mucho más allá del planeta más lejano que conocemos, Plutón, puede haber uno o dos planetas más, aunque tan lejanos que no tenemos señales de ellos. Pero estamos casi seguros de que allá fuera hay 100.000 millones o más de pequeños cuerpos helados, es decir, de cometas. Es la llamada nube de Oort, por el nombre del astrónomo que primero expuso la teoría de que estaba allí.

El *Voyager 2* entrará en la nube de Oort aproximadamente en el año 26.262 y continuará moviéndose a través de ella durante unos 2.400 años. Podría parecerles que si el *Voyager 2* pasa por una región que contiene cien mil millones de cuerpos helados, de al menos 19 kilómetros de diámetro cada uno, forzosamente tiene que chocar con uno de ellos y resultar destruido.

Pero no es así. El volumen de la nube de Oort es tan enorme que incluso con 100.000 millones de cuerpos moviéndose lentamente dentro de ella la probabilidad de que choque con uno de ellos es prácticamente nula. Hacia el año 28.635, el *Voyager 2* saldrá de la nube de Oort y se encontrará en el espacio interestelar.

Después de un millón de años de viaje, el *Voyager 2* estará a unos 50 años luz del Sol (que a distancias estelares es como si aún estuviese en nuestro patio trasero). En todo ese tiempo la estrella a la que se habrá aproximado más será la Próxima Centauri, de la que habrá estado sólo a 3,21 años luz. En un millón de años nunca se acercará a una

estrella más de 30 billones de kilómetros, y la probabilidad de que un cuerpo extraño se interponga en el camino de esta pequeña y silenciosa sonda, en las profundidades del espacio entre las estrellas es realmente demasiado pequeña para que tenga que preocuparnos.

Pero en este caso, ¿por qué enviamos un mensaje si no hay virtualmente posibilidad alguna de que sea recogido?

Recuerden que un millón de años es un tiempo corto en la historia del universo. El universo se ha mantenido durante 15.000 veces un millón de años, y seguramente continuará existiendo. Algún día, indudablemente mucho después de que nosotros hayamos desaparecido (pues las probabilidades de que la humanidad subsista incluso un solo millón de años son francamente muy escasas), alguien puede encontrar aquel mensaje.

Pero ¿a quién le importa esto si hará tanto tiempo que habremos desaparecido? Bueno, piénsenlo un poco. ¿Queremos desaparecer sin dejar rastro? ¿No estamos un poco orgullosos de la especie humana? Seguramente nos gustaría que otras inteligencias supieran que estuvimos una vez aquí, y lo que conseguimos hacer.

¿POR QUÉ SON LAS COSAS COMO SON?

En noviembre de 1988 se celebró una importante reunión científica para tratar de un tema que los científicos han estado discutiendo durante años: el principio antrópico.

«Antrópico» es una palabra derivada del griego y que significa «concerniente al hombre». El principio antrópico trata de sostener que los seres humanos, como observadores, son necesarios para la existencia misma del universo.

Podría parecer que lo cierto es lo contrario. Estamos en un pequeño planeta de una estrella corriente, perdida en una galaxia que contiene cientos de miles de millones de estrellas, y con más estrellas en un centenar de miles de millones de otras galaxias. ¿Por qué es tan incomprensiblemente enorme un universo, sólo para nosotros? La respuesta es que cuanto más pequeño es el universo menos tiempo tarda en expandirse y después en contraerse hasta dejar de existir. El universo debe ser tan grande como es para que nosotros tengamos tiempo a evolucionar.

Además, las leyes de la naturaleza están hechas de manera que puedan formarse los átomos. Si estas leyes fuesen ligeramente diferentes, la formación de átomos sería imposible. Lo acaecido después del big bang parece que permitió la formación de estrellas y galaxias como tales. Ligeras diferencias lo habrían hecho imposible. Si no hubiesen sido posibles los átomos, las estrellas y las galaxias, tampoco lo habríamos sido nosotros.

Incluso un ligero cambio en la órbita de la Tierra o en la masa del Sol habría hecho la Tierra inhabitable. Y aún siendo habitable, pequeños cambios químicos –por ejemplo si el agua no se dilatase al convertirse en hielo, o si los átomos de carbono no consiguiesen engancharse entre ellos– habrían hecho imposible la vida.

La teoría de los cuantos hace también que parezca que somos indispensables. Según esta teoría, hay condiciones en las cuales es imposible saber lo que está haciendo un electrón hasta que es realmente observado. Cuando el electrón no es observado, es imposible determinar, ni siquiera teóricamente, lo que está haciendo. Algunos científicos interpretan esto en el sentido de que el universo no puede existir sin observadores.

Según esta teoría, un universo debe tener observadores, y debe tenerlos desde el principio hasta el fin. Pero incluso los más simples seres humanos no evolucionaron hasta que el universo tuvo 15.000 millones de años. ¿Podían ser los dinosaurios

calificados de observadores? La propia Tierra no se formó hasta que el universo tuvo una edad de 10.000 millones de años. ¿Significa esto que hay otras formas de vida en otros planetas que hicieron la observación? ¿O quiere decir que el universo fue creado por Dios sólo en beneficio de los seres humanos, y que Dios es el observador universal por toda la eternidad? Este postulado podría parecer necesario según el «principio antrópico fuerte».

Pero la mayoría de los científicos prefieren un «principio antrópico débil». Para comprender lo que esto significa, consideremos la siguiente pregunta: ¿Por qué tienen nuestras orejas la forma y la posición que tienen? La respuesta podría ser que son así para que las gafas se acoplen a ellas. En tal caso, las orejas tienen que existir y estar donde están, y es la existencia de las gafas lo que lo determina.

Pero en realidad es al revés. Las gafas se hicieron de manera que se adaptasen a las orejas. Si éstas estuviesen situadas en otro sitio o no existiesen, las gafas habrían sido hechas de una manera diferente.

Del mismo modo, puede haber un número sumamente grande de universos, cada uno de ellos con una serie de leyes naturales diferentes. Tal vez en todos estos innumerables universos, menos en uno, las leyes naturales no permiten que exista vida. Las leyes de la naturaleza sólo permiten que haya vida en uno de ellos.

Este universo sería el nuestro, y nosotros habríamos evolucionado en él, maravillándonos después de lo exactamente adecuado que es para nosotros. Pero en realidad esto no tiene nada que ver con nosotros. Si encontramos perfecto nuestro universo es sólo porque es el único en el que podíamos existir.

Tal vez en otros universos donde no podía existir la vida (tal como la conocemos) pudieron prevalecer otras clases de vida y otros tipos de fenómenos inconcebibles. Y cada una de estas vidas o fenómenos, si tuviesen la facultad de hacerlo, se preguntarían por qué son sus universos tan adecuados para ellos.

¿Cómo podemos saber si este principio antrópico débil es correcto? A fin de cuentas, nuestro propio universo es el único que podemos observar. Un científico italiano, E. W. Sciama, ha formulado una sugerencia.

Si hay un número indeterminado de universos, puede haber muchos que sean lo bastante perfectos como para permitir que exista en ellos nuestra clase de vida. El nuestro sería sólo uno más, y tal vez no el más perfecto.

Si supiésemos más sobre nuestro universo, podríamos hacer mediciones más precisas que las que hemos hecho hasta ahora, y si pudiésemos aprender más sobre la vida y sus requisitos, tal vez podríamos ver que nuestro universo no es nada perfecto. Incluso podríamos diseñar (mentalmente) un universo que fuese más adecuado que el nuestro, modificando la forma precisa de su ley natural o el valor preciso de aquella constante.

Si nuestro universo fuese un poco imperfecto, sería más probable que hubiese una pequeña serie de universos adecuados para nosotros. Esto haría que el principio antrópico débil pareciese un poco más probable y sería un argumento contra el fuerte.

DÓNDE ACABA EL UNIVERSO

¿Qué quiere decir lejos? Los astrónomos ya han visto objetos que están a una distancia de 17.000 millones de años luz: unos 160 trillones de kilómetros.

No está mal. En fecha tan reciente como 1920, los astrónomos creían que nuestra Vía Láctea y algunos objetos vecinos más pequeños constituían todo el universo; los objetos más lejanos estaban sólo a 150.000 años luz.

Pero entonces, en los años veinte, se descubrió que había otras galaxias, otras muchas galaxias, miles de millones de galaxias. Más aún, que el universo se estaba expandiendo

de manera que grupos de galaxias se alejaban regularmente unos de otros. Las ondas luminosas procedentes de una galaxia que se aleja de nosotros son alargadas, y esto hace que la luz parezca más roja. Esto recibe el nombre de «desplazamiento hacia el rojo» y puede medirse por la posición de ciertas líneas oscuras en el espectro de la luz. Cuanto mayor sea el desplazamiento hacia el rojo, más lejos estará la galaxia.

En los años cuarenta se vio claramente que incluso la galaxia grande más próxima, fuera de la nuestra, estaba a más de dos millones de años luz. Las más lejanas se hallaban a cientos de millones de años luz. Más allá podía haber otras muchas galaxias, pero a tales distancias resultaban demasiado tenues para ser vistas.

En los años cincuenta se descubrió que ciertos objetos que parecían estrellas ordinarias emitían ondas de radio en cantidades desacostumbradas. Cuando estudiaron estos objetos, los científicos fueron incapaces de identificar las rayas oscuras en sus espectros. En 1963 se dieron cuenta de que las rayas oscuras estaban muy desplazadas hacia el rojo, lo cual significaba que los objetos tenían que estar muy lejos.

Estas estrellas extrañas fueron llamadas quásares. Y los quásares resultaron ser galaxias muy lejanas con centros que resplandecen por alguna razón. Están tan lejos que nada podemos distinguir, salvo estos centros relucientes que hacen que parezcan como estrellas.

Incluso el quasar más próximo está a mil millones de años luz. Otros quásares están mucho más lejos, hasta 10.000 millones de años luz o más. Ahora sabemos que existe gran cantidad de quásares en todas direcciones, pero no es fácil detectarlos entre el todavía mayor número de estrellas ordinarias que llenan el espacio.

Cuando miramos un objeto que está a 10.000 millones de años luz, estamos viendo una luz que ha tardado 10.000 millones de años en llegar hasta nosotros. Por consiguiente, vemos el objeto tal como era hace 10.000 millones de años, cuando el universo tal vez sólo había cumplido la mitad de su edad actual. Al parecer, los quásares se formaron en gran cantidad en los primeros días del universo, alcanzaron su punto culminante hace unos 13.000 millones de años y después decreció su número al formarse cada vez menos nuevos y extinguirse cada vez más los viejos. El estudio de quásares muy lejanos (y por ende muy viejos) nos daría por tanto una información muy útil sobre los tiempos jóvenes del universo.

Una manera de expresar la distancia y la edad de un quasar es midiendo lo que se había alargado la longitud de onda de su luz. Si las longitudes de onda son el doble de lo que hubiesen debido ser, es un desplazamiento hacia el rojo de 2; si son el triple, es un desplazamiento hacia el rojo de 3, y así sucesivamente. Cuanto más alto es el número, más lejos está y más viejo es el quasar.

El mayor desplazamiento hacia el rojo que se había observado hasta hace pocos años era de 3,8, correspondiente a una distancia de unos 15.000 millones de años luz. Los astrónomos supusieron que no podrían detectar otros más lejanos, porque el universo no debía haber formado galaxias con anterioridad.

Estaban equivocados. En septiembre de 1986 se detectó un quasar que tenía un desplazamiento hacia el rojo de 4,01. En 1987 se detectaron varios con desplazamientos hacia el rojo de más de 4. El que posee el récord actual tiene una desviación hacia el rojo de 4,43. Eso significa tal vez 16.000 millones de años.

Las ondas de luz de los quásares más lejanos son tan alargadas que gran parte de aquella luz es infrarroja. La que podemos ver realmente es muy débil. Generalmente detectamos estos quásares sólo porque su radiación es rica en ondas de radio.

¿Y si los científicos que buscan quásares todavía más lejanos centrasen su atención en encontrar objetos cuyos espectros sean ricos en luz infrarroja y que tengan también muy altos desplazamientos hacia el rojo? En la Universidad de Arizona, un equipo

dirigido por Richard Elston ha empleado series de potentes detectores de infrarrojos precisamente para este fin.

En enero de 1988 dieron a conocer que habían localizado objetos ricos en luz infrarroja que parecían tener desplazamientos extraordinariamente altos hacia el rojo, algunos tal vez de hasta 6. Por la información que recogieron, pareció que aquellos objetos eran galaxias en proceso de formación y que estaban a una distancia de 17.000 millones de años luz como mínimo.

En aquellos tiempos, el universo podía tener sólo 2.000 o 3.000 millones de años de existencia. Si fue entonces cuando se estaban formando las galaxias, no podemos esperar ver nada más lejano, porque no había nada que ver; sólo una neblina de materia energética que todavía no se había contraído para formar galaxias. Habremos llegado al final del universo, porque habremos llegado a su principio. Las dos cosas son lo mismo.

ÍNDICE ONOMÁSTICO

A

B

C

D

E

F

G

H

I

J

K

L

M

N

O

P

Q

R

S

T

U

V

W

X

Y

Z

ÍNDICE